

# Avaliação da eficiência da gestão ambiental e eficiência operacional de portos públicos brasileiros que exportam soja

**Daniele Moraes Electo de Paiva<sup>1</sup>**

**Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas<sup>2</sup>**

**Maria Claudia Barbosa<sup>1</sup>**

**Nelio D. Pizzolato<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE, Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro / RJ — Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE, Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro / RJ — Brasil

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / Departamento de Engenharia Industrial, Rio de Janeiro / RJ — Brasil

Sete portos públicos brasileiros que movimentam soja foram avaliados quanto a sua gestão ambiental usando-se Análise por Envolvimento de Dados (DEA). Para a análise, os dados referentes ao gerenciamento de efluentes líquidos, resíduos sólidos, e presença de fauna sinantrópica nesses portos foram utilizados em conjunto com o Índice de Desempenho Ambiental da ANTAQ. Os resultados mostram que a qualidade da gestão ambiental precisa ser abordada para que o sistema seja eficiente como um todo, e para isso, DEA pode ser uma ferramenta útil.

**Palavras-chave:** análise por envolvimento de dados; eficiência ambiental; sinantrópica.

## Evaluación de la eficiencia de la gestión ambiental y eficiencia operacional de puertos públicos brasileños que exportan soja

Se evaluaron siete puertos públicos brasileños de embarque de soja en cuanto a su gestión ambiental usando el análisis por envoltura de datos (DEA). Para el análisis, los datos referentes a la gestión de efluentes líquidos, residuos sólidos, y presencia de fauna sinantrópica en esos puertos se utilizaron en conjunto con el Índice de Desempeño Ambiental de la ANTAQ (Agencia Nacional de Transportes Acuáticos). Los resultados muestran que la calidad de la gestión ambiental debe abordarse para que el sistema sea eficiente en su totalidad, y para ello, el DEA puede ser una herramienta útil.

**Palabras clave:** análisis por envoltura de datos; eficiencia medioambiental; sinantrópica.

## Assessing the environmental management and operational efficiency of Brazilian public ports that export soybeans

Using Data Envelopment Analysis (DEA), seven public ports in Brazil that trade soybeans had their environmental management assessed. Data regarding the management of sewage, solid waste, and of the presence of synanthropic fauna in public ports was used along with the port environmental index created by ANTAQ in the analysis. The results show that the quality of the environmental management needs to be addressed, so the efficiency of the system can be reached, and that DEA can be a useful tool.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis (DEA); environmental efficiency; synanthropic.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-761220170311>

ISSN: 1982-3134 

Artigo recebido em 9 ago. 2017 e aceito para publicação em 1 ago. 2018.

[Versão traduzida]

O presente artigo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; e com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos padrões ambientais vêm sendo estabelecidos para portos marítimos, por organizações governamentais ou não, assim como pela sociedade. Alguns países, ao longo dos anos, investiram em seus portos, enquanto outros, como o Brasil, submeteram seu sistema portuário a períodos de ausência de investimentos (Wanke, 2013).

Nos anos 1990, o Brasil se tornou um grande produtor de *commodities*, como a soja, aumentando sua produção e comercialização, em especial com o mercado asiático (IBGE, 2014; MDIC, 2015), levando, assim, o setor portuário ao início de um processo de modernização (Wanke, 2013).

No Brasil, a Secretaria de Portos (SP) é o órgão da Administração Pública responsável pelo desenvolvimento de projetos para promoção de melhorias na infraestrutura portuária, e estabelece metas de gerenciamento a serem cumpridas pela administração portuária em cada porto.

Em 2011, a Secretaria de Portos iniciou um programa chamado Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros (PCRS) com o intuito de identificar aspectos ambientais em 22 portos públicos marítimos, e melhorar seus índices ambientais.

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), outro órgão público, desenvolveu o Índice de Desempenho Ambiental (IDA) que engloba indicadores de quatro categorias (sociocultural, econômico-operacional, físico-químico, e biológico-ecológico) além de catorze indicadores globais tais como Governança Ambiental, Segurança, Gestão de Operações Portuárias, Gerenciamento de Energia, Custo e Benefícios das Ações Ambientais, Agenda Ambiental, Gestão Condominial do Porto Organizado, e outros (ANTAQ, 2012).

Essas iniciativas e seus resultados contribuem na avaliação de eficiência portuária, e por consequência, na sua melhoria por meio de ferramentas de avaliação e ações.

## 2. EFICIÊNCIA PORTUÁRIA COM ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

Muitos estudos têm sido realizados usando-se Análise por Envoltória de Dados (DEA)<sup>1</sup> para se medir a eficiência portuária, especialmente de portos de contêineres, com avaliação da estrutura física dos mesmos. Cullinane, Song, Ji, e Wang (2004) aplicaram DEA-CCR e DEA-BCC usando o *software* DEA-Solver-PRO 3.0 para avaliar portos europeus. Wiśnicki, Chybowski, e Czarnecki (2017) usaram o modelo DEA -CCR, por meio de um *software*, para avaliar terminais de contêiner na Europa tendo como base a tecnologia disponível para movimentação de carga; Wu e Goh (2010) mostraram a eficiência de mercados emergentes aplicando o modelo A&P<sup>2</sup>, assim como modelos DEA - BCC e CCR. Yuen, Zhang e Cheung (2013) estudaram a eficiência de portos chineses, levando em consideração, investimentos estrangeiros. Sousa, Nobre, Prata, e Mello (2013) e Wanke (2013) avaliaram a eficiência de portos brasileiros; Van Dyck (2015) avaliaram a eficiência de portos na África.

Relativo à avaliação ambiental, a aplicabilidade empírica do DEA influenciou no aumento de sua popularidade nessa área de estudos (Zhou, Ang, & Poh, 2008). Chen e Jia (2016) citam três categorias

<sup>1</sup> Do inglês: *Data Envelopment Analysis*.

<sup>2</sup> “Desenvolvido por Andersen e Petersen em 1993, e consiste em um modelo capaz de diferenciar os níveis de eficiência relativa de DMUs consideradas eficientes” (Mauricio, 2015).

em que os estudos estão divididos, quais sejam os que processam *outputs* indesejáveis como *inputs*; aqueles em que os dados têm que ser minimizados ou maximizados; e os que refletem o processo real.

Sueyoshi, Yuana e Goto (2017) mostraram que, tendo-se como base o número de publicações relacionadas a questões ambientais, nota-se que esta área se tornou mais conhecida entre os pesquisadores de DEA, comparando-a com a área relacionada a energia. Mardani, Zavadskas, Streimikiene, Jusoh, e Khoshnoudi (2017) apresentaram um estudo de revisão de artigos que utilizaram DEA na avaliação de eficiência energética, publicados em 45 revistas científicas entre 2006 e 2015.

As tentativas consideraram abordagens diferentes de DEA com dados ambientais, com foco principalmente nos efeitos indesejáveis. Muitos estudos com DEA são realizados com dados da China, sabendo-se que esse país se tornou o maior consumidor de energia, e em emissão de poluentes no mundo (Wu, Zhu, Chu, Liu, & Liang, 2016). Os mesmos autores mediram o desempenho ambiental de sistemas de transporte de 30 regiões da China.

Mais recentemente, DEA foi utilizado em um estudo para auxiliar a China em sua política de redução no consumo dos recursos naturais, e como alocar o suplemento remanescente dos mesmos. Nesse estudo, Zhu et al (2017) utilizaram um modelo DEA baseado na eficiência na utilização de recursos naturais, com orientação a *input*, e mostraram que em torno de 50% das regiões precisam reduzir o consumo, e que a outra metade pode manter seus patamares de consumo de recursos naturais.

A vantagem que o modelo DEA apresenta para análises ambientais pode ser comprometida pelos aspectos positivos e negativos relacionados a dados de meio ambiente, e segundo Wu et al. (2016), DEA tem uma abordagem mais simples, e funciona muito bem para avaliação de desempenho.

Este estudo apresenta uma aplicação de DEA, de forma conservadora, usando-se o modelo CCR, baseado em retornos constantes de escala. Tem como objetivo o uso de uma ferramenta de fácil uso e acesso que pode ajudar a estabelecer indicadores conforme um programa de gerenciamento ambiental, e por conseguinte, contribuir com o objetivo de um plano de gerenciamento.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo utilizou o modelo tradicional DEA CCR. Para resultados iguais a 1, a Unidade de Tomada de Decisão (DMU<sup>3</sup>) é considerada eficiente, e para resultados menores que 1, a DMU não é considerada eficiente pela avaliação DEA (Cui & Li, 2014). As DMUs identificadas como DEA eficientes são necessariamente eficientes perante um conjunto de variáveis pré-determinadas e condições homogêneas das DMUs avaliadas. As eficientes são consideradas *benchmark* para aquelas que não alcançaram o valor 1, e se encontram fora da fronteira de eficiência estimada, estabelecida pelas DMUs eficientes (Turner, Windle & Dresner, 2004).

O modelo DEA-BCC avalia a eficiência considerando variáveis de retorno de escala. Quando aplicado a um grupo pequeno de DMUs, como neste estudo em questão, os resultados apontam como eficientes um grande número de DMUs, uma vez que o modelo considera as diferenças no desempenho dos *inputs* (GEPROS, 2007).

No estudo de caso aqui apresentado, todos os portos são geridos pela administração pública, sujeitos a regulamentos que determinam os padrões de gerenciamento ambiental a serem adotados, e são avaliados quanto à eficiência operacional, considerando-se a movimentação de soja. Os portos estão sujeitos aos mesmos parâmetros de controle ambiental.

---

<sup>3</sup> Do inglês: *Decision Making Unit*.

### 3.1 Portos estudados

Os sete portos (Porto de Ilhéus, Itaquí, Santos, Imbituba, Paranaguá, Rio Grande, e São Francisco do Sul) são parte integrante do Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros, e movimentaram 64,3% do total de soja exportado por meio de portos no Brasil em 2014.

### 3.2 Dados

#### 3.2.1 Dados Ambientais (input)

O resíduo sólido (RS) é responsabilidade do gerador, e em sua maioria, as áreas arrendadas tendem a apresentar um sistema de gerenciamento satisfatório. Os dados coletados no PCRS foram organizados da conforme os critérios a seguir:

- i. Número de meses dos dados coletados em 2013;
- ii. Perigo ambiental conforme a NBR10004:2004<sup>4</sup>;
- iii. Plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS).

Os tipos mais representativos de resíduos gerados foram identificados como:

- i. Reciclável II A ou B<sup>5</sup>, demonstrando algum nível de separação prévia;
- ii. Resíduo comum;
- iii. Resíduo perigoso não reciclável;
- iv. Resíduo não identificado.

O Quadro 1 e o Quadro 2 ilustram os parâmetros usados para pontuar o gerenciamento do resíduo sólido, e seus valores, sabendo-se que quanto melhor o gerenciamento associado ao parâmetro, menor é o valor numérico.

#### QUADRO 1 PARÂMETROS E VALORES ATRIBUÍDOS NAS ÁREAS PÚBLICAS

Parâmetros	Classificação com valor atribuído		
	1	2	3
Frequência da coleta	> = 10 meses	< 10 meses e > 5 meses	< 5 meses
Tipo de resíduo de maior representatividade	Reciclável (Classe II A e B)	Comum	Perigosos (Classe I não reciclável) e não identificado
PGRS	Implementado no porto	Porto tem, mas não está implementado	Ausente
Total	3	6	9

Fonte: Dados da pesquisa.

<sup>4</sup> Norma brasileira de classificação de resíduos sólidos.

<sup>5</sup> IIA- Resíduo inerte não perigoso; IIB- Resíduo inerte conforme a NBR10004:2004.

## QUADRO 2 PARÂMETROS E VALORES ATRIBUÍDOS ÀS ÁREAS ARRENDADAS

Parâmetros	Classificação com valor atribuído		
	1,5	3	4,5
Frequência da coleta	> = 10 meses	< 10 meses e > 5 meses	< 5 meses
Tipo de resíduo de maior representatividade	Reciclável (Classe II A e B)	Lixo Comum	Perigosos (Classe I não reciclável) e não identificado
Total	3	6	9

Fonte: Dados da pesquisa.

*Águas residuais (AR)* – Segundo a NBR 9896 (ABNT, 1993) refere-se às águas servidas, água de chuva e efluentes com resíduos oleosos. O Quadro 3 traz os parâmetros usados para pontuar o gerenciamento das águas residuais nos portos, sabendo-se que quanto melhor for o gerenciamento associado ao parâmetro, mais baixo será o valor estimado.

## QUADRO 3 PARÂMETROS E VALORES ATRIBUÍDOS ÀS ÁREAS PÚBLICAS E ARRENDADAS

Efluentes	Parâmetros	Classificação com valor atribuído		
		1	2	3
Sanitário		Possui tratamento total	Possui tratamento parcial	Não possui tratamento
Pluvial				
Oleoso				
Total				

Fonte: Dados da pesquisa.

*Fauna Sinantrópica Nociva (FSN)* – Os parâmetros se referem ao uso de um plano de controle, e ações para controlar a presença de roedores e pombos. O Quadro 4 traz os parâmetros usados para pontuar o gerenciamento das espécies, sabendo-se que quanto melhor o gerenciamento associado ao parâmetro, menor será o valor estimado. A quantificação é feita para áreas públicas e arrendadas de forma conjunta, considerando-se a interação existente devido à mobilidade das populações dessas espécies.

**QUADRO 4 PARÂMETROS E VALORES ATRIBUÍDOS ÀS ÁREAS PÚBLICAS E ARRENDADAS**

Parâmetros	Classificação com valor atribuído		
	3	6	9
Plano de controle	Porto possui programa de controle integrado da FSN e há controle efetivo	Porto possui programa de controle integrado da FSN e não há controle efetivo	Porto não possui programa de controle integrado da FSN
Ações de controle	Controle de roedores e pombos	Controle de roedores ou pombos	Não possui ações de controle de FSN
Total	6	12	18

Fonte: Dados da pesquisa.

**3.2.2 Dados ambientais (output)**

A Tabela 1 mostra os valores atribuídos a cada um dos sete portos após aplicação da metodologia sugerida, e valores do IDA da ANTAQ, de 2014.

**TABELA 1 VALORES ATRIBUÍDOS ÀS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE INPUT E OUTPUT**

Portos	Variáveis			Output (IDA)
	RS	AR	FSN	2014
Ilhéus	18	18	15	44,22
Imbituba	8,5	11	6	56,77
Itaqui	15	8	18	82,26
Paranaguá	11	13	9	81,07
Rio Grande	9,5	14	12	70,90
Santos	9	9	12	64,12
São Francisco do Sul	8,5	12	12	61,97

Fonte: Dados da pesquisa.

**3.2.3 Dados operacionais (input)**

Ao se usar DEA, o critério mais importante de definição das variáveis é a opinião de especialistas do setor pesquisado, que foram consultados, por meio de um questionário elaborado para identificar quais fatores mais influenciam na movimentação de carga.

Os especialistas deveriam ranquear e prover informações relativas aos seguintes aspectos:

- Capacidade de armazenamento – Se a capacidade disponível é suficiente e se permite aumento na movimentação;

- Estacionamento – Se o porto possui área específica para caminhões aguardarem até o momento da descarga da soja;
- Maquinário de movimentação – Se é suficiente, e eficiente para a demanda corrente, e para demandas maiores;
- Extensão de berço disponível para movimentação de soja;
- Profundidade do canal de acesso – A necessidade e frequência de dragagem foi questionada;
- Equipe – Número de trabalhadores necessários na movimentação;
- Outros aspectos que o operador considerasse importantes de serem abordados, além da opção de explicar as escolhas feitas, e de dar sugestões.

Três variáveis de infraestrutura foram indicados:

- Capacidade de armazenamento da soja (CA): Influi na disponibilidade do produto para se manter um fluxo regular de movimentação, com caminhões descarregando os grãos sem necessidade de espera;
- Profundidade do canal de acesso (PC): Influi na dimensão dos navios que podem acessar o porto;
- Extensão do berço (EB): Influi no tamanho dos navios que podem acostar no Porto, e no número de equipamentos que podem ser alocadas, tais como *ship loaders*.

### 3.2.4 Dados Operacionais (output)

Para a avaliação operacional com DEA, dois testes foram feitos, cada um com dados de *output* diferentes, quais sejam o volume de soja movimentado em 2014 (t/ano) e prancha média (produtividade) em toneladas por hora, que indica a produtividade média de cada terminal ou conjunto de berços, medida em relação ao tempo de atracação dos navios (ocupação dos berços), tomado como tempo de atendimento (ANTAQ, 2003).

A Tabela 2 mostra os dados de *input* e *output* selecionados para os sete portos.

**TABELA 2 DADOS PARA A EFICIÊNCIA OPERACIONAL COM DEA**

Portos	Variáveis				
	Input			Output	
	Capacidade de armazenamento (t)	Profundidade do canal de acesso (m)	Extensão de berço (m)	Prancha Média (t/h)	Toneladas de soja movimentadas 2014 (t/ano)
Ilhéus	50.000	8,20	216	94	172.852,00
Imbituba	40.000	10,80	245	172	513.574,00
Itaqui	216.000	23	280	853	3.054.084,00
Paranaguá	1.255.500	15	961	763	7.306.643,00
Rio Grande	1.583.000	14,50	1362	533	4.751.563,00
Santos	998.000	13,20	1478	703	11.123.777,00
São Francisco do Sul	369.000	12	220	1.080	4.323.843,00

Fonte: SIG/ANTAQ (2015); CODESP (2012); LABTRANS (2013, 2012).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *software* EMS - *Efficiency Measurement System* foi utilizado para aplicar DEA.

O modelo BCC considera variáveis de retorno de escala, e é mais propenso a identificar um número maior de unidades eficientes. Um teste aplicando-se o modelo BCC foi feito, e seis portos foram identificados como eficientes, o que para o propósito desta pesquisa não seria significativamente relevante.

O modelo CCR trabalha com constantes de retorno de escala e é mais apropriado, uma vez que os resultados apresentam, que o número de unidades é pequeno, o que permite o uso destas como referências, ou *benchmarks*, para melhoria daquelas unidades “ineficientes”.

### 4.1 Eficiência Ambiental com DEA

Aplicando-se DEA-CCR (também conhecido como CRS-*Constant Return to Scale*) com orientação a *input*, busca-se diminuir os valores dos dados de *input*, mantendo-se os valores dos dados de *output* constantes, para que seja gerada uma fronteira de eficiência.

A tabela a seguir traz resultados gerados pelo *software* EMS, mostrando que as DMUs com eficiência relativa foram as DMUs 2 e 7, ambas com resultado de 100% (DEA = 1). Elas são consideradas eficientes, dadas as condições dos portos analisados, um em relação ao outro.

**TABELA 3 EFICIÊNCIA AMBIENTAL COM DEA**

DMU	Portos	Eficiência	FSN	RS	AR	IDA	Benchmarks
1	ILH	32,99%	0,38	0,31	0,31	1,00	2 (0,10) 7 (0,43)
2	IMB	100,00%	0,39	0,37	0,24	1,00	3
3	ITA	86,68%	0,26	0,36	0,38	1,00	7 (0,96)
4	PN	81,42%	0,36	0,29	0,35	1,00	2 (0,62) 7 (0,35)
5	RG	88,18%	0,44	0,32	0,24	1,00	2 (0,31) 7 (0,72)
6	SAN	92,15%	0,21	0,26	0,53	1,00	7 (0,84)
7	SFS	100,00%	0,28	0,33	0,40	1,00	5

Fonte: Resultado do software EMS a partir de dados da pesquisa.

A coluna *Benchmarks* mostra as DMUs com eficiência DEA que podem ser consideradas *benchmark* para aquelas não eficientes segundo DEA. Em parênteses, as intensidades, os “lambdas” correspondentes, indicam a intensidade de correspondência entre a DMU ineficiente e a DMU tratada como *benchmark*. Note-se que a DMU 2 é referência *benchmark* para 3 portos, enquanto que a DMU 7 é *benchmark* para 5 portos.

A DMU 2 teve forte influência dos dados de *input*, principalmente pelos dados referentes ao gerenciamento de FSN. A DMU 2 mostrou ter o melhor programa de gerenciamento, já que possui ausência de fauna sinantrópica nociva no porto. As práticas adotadas pela DMU 2 podem servir



como guia de orientação para as DMUs 1, 4 e 5, com considerações de ajuste a essas práticas para cada porto em questão, para melhorias nesse parâmetro.

A DMU 7 teve seu resultado influenciado por seu alto IDA. A DMU 4 tem ambos portos eficientes (DMUs 2 e 7) como referências *benchmarks*, e seus valores 0,62 e 0,35 mostram que a DMU 2 é mais indicada como referência *benchmark*, que a DMU 7.

## 4.2 Eficiência Operacional DEA

### 4.2.1 Eficiência a partir da quantidade de soja movimentada

A Tabela 4 traz os resultados da análise DEA, onde duas DMUs foram consideradas eficientes. As DMUs 3 e 6 foram consideradas referências *benchmarks* para 3 portos, cada.

**TABELA 4** EFICIÊNCIA OPERACIONAL DEA COM QUANTIDADE MOVIMENTADA

DMU	Portos	Eficiência	CA	PC	TON	Benchmarks
1	ILH	18,31%	0,87	0,13	1,00	3 (0,06)
2	IMB	62,75%	0,80	0,20	1,00	3 (0,17)
3	ITA	100,00%	0,89	0,11	1,00	3
4	PN	53,81%	0,72	0,28	1,00	6 (0,66)
5	RG	29,73%	0,77	0,23	1,00	6 (0,43)
6	SAN	100,00%	0,69	0,31	1,00	3
7	SFS	95,48%	0,85	0,15	1,00	3 (0,33) 6 (0,30)

Fonte: Resultado do software EMS a partir de dados da pesquisa.

A DMU 7 obteve o melhor resultado entre as DMUs consideradas não eficientes, e nota-se grande disparidade dos resultados mostrados na Tabela 4. A DMU 1 apresentou a menor eficiência DEA com 0,18 de resultado, assim como na análise ambiental aonde obteve 0,33, o que demonstra que este porto necessita melhorias consideráveis em ambas as áreas, operacional e ambiental. A DMU 2, com DEA = 1 na análise ambiental, obteve resultado DEA = 0,63 na análise operacional, que pode ser justificado por sua recente entrada no mercado de movimentação de soja, em 2014 e baixa capacidade de armazenamento.

As DMUs 4 e 5 têm a maior capacidade de armazenamento, e foram o segundo e terceiro maiores operadores de soja em 2014 (Tabela 2). No entanto, os resultados DEA de baixa eficiência, podem ser interpretados como existência de ociosidade das estruturas de armazenamento desses portos, que podem trabalhar com o aumento do volume movimentado, ou melhorar a ocupação e uso de armazéns e silos, e assim melhorar sua eficiência DEA.

#### 4.2.2 Eficiência a partir da produtividade

A Tabela 5 traz os resultados DEA, apresentando duas DMUs eficientes (DMU 3 e DMU 7).

**TABELA 5 EFICIÊNCIA OPERACIONAL DEA COM A PRODUTIVIDADE**

DMU	Portos	Score	CA	EB	P	Benchmarks
1	ILH	20,78%	0,29	0,71	1,00	3 (0,11)
2	IMB	36,70%	0,23	0,77	1,00	3 (0,20)
3	ITA	100,00%	0,51	0,49	1,00	5
4	PN	18,57%	0,52	0,48	1,00	3 (0,22) 7 (0,54)
5	RG	9,72%	0,49	0,51	1,00	3 (0,22) 7 (0,32)
6	SAN	14,89%	0,36	0,64	1,00	3 (0,72) 7 (0,08)
7	SFS	100,00%	0,14	0,86	1,00	3

Fonte: Resultado do software EMS a partir de dados da pesquisa.

A DMU 3 é considerada *benchmark* para outras cinco DMUs. Para a DMU 7, o resultado pode ter sido influenciado por seu alto índice de produtividade, e extensão dos berços, que indicam bom uso de sua capacidade. Berços de extensão reduzida implicam em menos maquinário disponível ao longo dos berços, e se apesar disso, com alta produtividade, esse resultado mostra uso eficiente dos recursos disponíveis.

A DMU 6 conta com 1.478 m de extensão de berço, enquanto que a DMU 5 tem 1.362 m de extensão, e a DMU 4, 961 m. Esses portos têm as maiores extensões de berços do grupo, e apesar do potencial para serem eficientes, os resultados DEA indicam ineficiência no gerenciamento da área e equipamentos disponíveis.

A DMU 2 teve o resultado mais baixo nesta análise, comparando-se com as anteriores para este mesmo porto, e que pode ser devido à ausência de estruturas apropriadas para a movimentação de soja, tais como esteiras e *ship loaders*. Percebe-se que a extensão de berço teve maior impacto nessa DMU (77% EB), já que conta com 245m, uma das mais curtas do grupo, e implica, potencialmente, alta taxa de utilização do berço, enquanto que suas unidades de armazenamento precisam melhor gerenciamento.

## 5. CONCLUSÕES

O modelo CCR é uma ferramenta que auxilia na indicação de quais valores de *input* devem diminuir, mantendo-se os níveis dos *outputs*, para se melhorar a eficiência de uma determinada DMU. O modelo simples aplicado a um conjunto de dados numéricos, previamente codificados, podem gerar resultados de eficiência que precisam ser interpretados, com base no sistema de codificação adotado.

Este estudo avaliou a eficiência ambiental de sete portos que movimentam soja, utilizando um sistema de codificação de dados de gerenciamento de três aspectos ambientais, não comumente

avaliados com DEA, mas de grande importância na avaliação do gerenciamento ambiental em Portos Brasileiros. Diminuir os *inputs*, conforme a orientação a *input*, significa identificar o melhor sistema de gerenciamento ambiental, que pode, então, ser sugerido como modelo para as unidades não eficientes.

Outras duas análises foram feitas para avaliação da infraestrutura operacional, e mostraram grande disparidade dos resultados em cada análise e entre elas. Os resultados da análise ambiental, uma vez confrontados com os resultados das análises operacionais mostraram que a maioria dos portos avaliados apresentaram eficiência ambiental próximo da fronteira de eficiência, estabelecida por duas DMUs, ao passo que a eficiência operacional apresentou diferença considerável, devido à diferença entre os dados. Em termos de aplicação dos resultados, as DMUs mais distantes da fronteira de eficiência podem se beneficiar mais da análise DEA, uma vez que tenham suas deficiências identificadas, e as ferramentas de gerenciamento aplicadas por seus *benchmarks* sejam consideradas como fonte de melhorias.

Diferenças nos valores das variáveis contribuem com a análise, já que as DMUs podem apresentar resultados de eficiência distantes da fronteira de eficiência. Sugere-se que, para a análise ambiental, mais critérios sejam utilizados para o refinamento dos valores dos dados, e assim, a codificação possa gerar valores distantes entre dados, com distâncias maiores entre os resultados das DMUs eficientes, e as demais, o que é desejável quando se usa DEA. O refinamento de variáveis, neste estudo, significa criar mais ferramentas de gerenciamento que possam distinguir os portos.

Foi mostrado que portos com grandes volumes movimentados de soja em 2014 não foram ambientalmente eficientes segundo DEA, exceto pelo Porto de Santos que apresentou um resultado próximo à fronteira de eficiência, além de se mostrar eficiente na avaliação com volume de soja como *output*, mas mostrou baixa eficiência na avaliação com produtividade. A análise DEA operacional mostrou que do ponto de vista gerencial, os portos precisam melhorar seus sistemas durante o ano inteiro, utilizando melhor sua infraestrutura, que apresenta problemas operacionais e de conservação que também influenciam nos problemas ambientais, relacionados principalmente ao saneamento.

Esses resultados podem ser úteis para o Governo, e, portanto, para a Administração Pública uma vez que programas ou regulamentações são elaborados para o controle dos níveis de poluição, aplicando-se parâmetros pré-estabelecidos de eficiência como uma ferramenta de gerenciamento. É necessário que a Administração Pública crie índices capazes de medir e avaliar os portos periodicamente, criando condições para que os mesmos melhorem seus níveis de eficiência ambiental, e entendam aonde esforços devem ser alocados para que haja melhoria de fato.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2003). *Indicadores de Desempenho Portuário*. Brasília, DF: Autor.
- Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2012). *Índice de Desempenho Ambiental - IDA para Instalações Portuárias*. Brasília, DF: Autor.
- Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2014). *O Índice de Desempenho Ambiental - IDA*. Brasília, DF: Autor. Recuperado de [http://web.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente\\_IDA.asp](http://web.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente_IDA.asp)
- Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2015). *SIGANTAQ Sistema de Informações Gerenciais*. Brasília, DF: Autor. Recuperado de <http://www.antaq.gov.br/sistemas/sig/InformacaoResultadoAvancado.asp>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). *NBR 9896: Glossário de poluição das águas*. Rio de Janeiro: Autor.
- Chen, L., & Jia, G. (2017). Environmental efficiency analysis of China's regional industry: a data envelopment analysis (DEA) based approach. *Journal of Cleaner Production*, 142(2), 846-853.
- Companhia das Docas de São Paulo. (2012). *Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Santos 2012-2024*. Santos, SP: Autor.
- Cullinane, K., Song, D. W., Ji, P., & Wang, T. F. (2004). An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency. *Review of Network Economics*, 3(2), 184-206.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). *IBGE confirma safra recorde em 2013 e prevê produção ainda maior em 2014*. Rio de Janeiro: Autor. Recuperado de <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2561>
- Mardania, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A., & Khoshnoudi, M. (2017, abril). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1298-1322.
- Mauricio, M. P. G. (2015). *Aduana e seus indicadores de desempenho: avaliação comparativa da eficiência das regiões fiscais do Brasil pela Análise Envoltória de Dados* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio. (2014). *Balança Comercial Brasileira - Dados Consolidados 2014*. Recuperado de [http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1423144482.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1423144482.pdf)
- Sousa, J. N. C. de, Jr., Nobre, E. F., Jr., Prata, B. de A., & Mello, J. C. C. B. S. de. (2013). Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. *Journal of Transport Literature*, 7(4), 75-106.
- Sueyoshi, T., Yuana, Y., & Goto, M. (2017, fevereiro). A literature study for DEA applied to energy and environment. *Energy Economics*, 62, 104-124.
- Turner, H., Windle, R., & Dresner, M. (2004). North American Containerport: 1984-1997. *Transportation Research Part E*, 40(4), 339-356.
- Van Dyck, G. K. (2015). Assessment of Port Efficiency in West Africa Using Data Envelopment Analysis. *American Journal of Industrial and Business Management*, 5(4), 208-218.
- Wanke, P. F. (2013). Physical Infrastructure and Shipment Consolidation Efficiency Drivers in Brazilian Ports: A Two-stage Network-DEA Approach. *Transport Policy*, 29, 145-153.
- Wiśnicki, B., Chybowski, L., & Czarnecki, M. (2017). Analysis of the efficiency of port container terminals with the use of the data envelopment analysis method of relative productivity evaluation. *Management Systems in Production Engineering*, 1(25), 9-15.
- Wu, Y.-C. J., & Goh, M. (2010). Container port efficiency in emerging and more advanced markets. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 1030-1042.
- Wu, J., Zhu, Q., Chu, J., Liu, H., & Liang, L. (2016). Measuring energy and environmental efficiency of transportation systems in China based on a parallel DEA approach. *Transportation Research Part D*, 48, 460-472.
- Yuen, A. C., Zhang, A., & Cheung, W. (2013). Foreign participation and competition: A way to improve the container port efficiency in China? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 220-231.
- Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2018). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *Energy Economics*, 30(1), 1-14.

Zhu, Q., Wu, J., Li, X., & Xiong, B. (2017). China's regional natural resource allocation and utilization:

A DEA-based approach in a big data environment. *Journal of Cleaner Production*, 142(2), 809-818.

### Daniele Moraes Electo de Paiva



<https://orcid.org/0000-0002-5925-2283>

Mestrado em Engenharia Civil; Bolsista do CNPq – Brasil. E-mail: daniele.paiva@ivig.coppe.ufrj.br

### Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas



<https://orcid.org/0000-0002-9242-1288>

Doutor em Economia; Professor adjunto do Programa de Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: mfreitas@ppe.ufrj.br

### Maria Claudia Barbosa



<https://orcid.org/0000-0002-7695-7779>

Doutora em Engenharia Civil; Professora associada do Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: mclaudia@coc.ufrj.br

### Nélio D. Pizzolato



<https://orcid.org/0000-0002-1558-8914>

Doutor em Administração; Professor Associado do Departamento de Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. E-mail: ndp@puc-rio.br