

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS NOS TERMINAIS PORTUÁRIOS DE CARGA GERAL UTILIZANDO DEA

B.T.G. Garcia^{1*}; M.A.V. da Silva¹ e M.A.V. de Freitas²

1 Programa de Engenharia de Transportes - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 21941-914, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

2 Programa de Planejamento Energético - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 21941-914, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

*breno.garcia@pet.coppe.ufrj.br

Artigo submetido em 30/01/2017 e aceito em 27/03/2017

RESUMO

A partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o setor portuário brasileiro foi obrigado a gerenciar os resíduos gerados nos portos e terminais portuários. A partir do inventário de resíduos foi possível analisar a eficiência na geração de resíduos nos terminais portuários que movimentam, predominantemente, a carga geral, utilizando o método de Análise Envoltória de Dados (DEA). O modelo DEA BCC orientado a *output* foi adotado. Além disso, este trabalho utilizou três análises, sendo, uma geral e duas par-a-par. O resultado da análise geral, em que considerou as três variáveis, apresentou oito terminais eficientes, tendo um terminal falso-eficiente. A

DMU 18 foi a mais eficiente, pois, obteve o maior valor na Composta Normalizada. Nas análises par-a-par, a fronteira eficiente foi formada por apenas duas DMU's, onde a presença da DMU 21 é observada nas três análises. Além disso, numa das análises par-a-par observou-se que o modelo atribuiu o maior valor na Composta Normalizada para a DMU 20 que não foi eficiente. Neste caso, os indicadores da Composta e Composta Normalizada foram desconsiderados da análise, utilizando os indicadores de eficiência padrão e invertida. Este artigo inclui a identificação dos terminais com as melhores e piores práticas gerenciais.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Envoltória de Dados (DEA); Resíduos Sólidos; Terminal Portuário.

ANALYSIS OF EFFICIENCY IN THE GENERATION OF WASTE IN GENERAL CARGO PORT TERMINALS USING DEA

ABSTRACT

Based on the National Solid Waste Policy, the Brazilian port sector was forced to manage the waste generated in ports and port terminals. From the inventory of waste, it was possible to analyze the efficiency in the generation of waste in port terminals that predominantly handle the general cargo, using the Data Envelopment Analysis (DEA) method. The output-oriented DEA BCC model was adopted. In addition, this work used three analyzes, one general and two peer-to-peer. The result of the general analysis, in which the three variables were considered, presented eight efficient terminals, having one false-efficient terminal. The DMU 18 was the most

efficient because it obtained the highest value in the Normalized Compound. In the peer-to-peer analysis, the efficient border was formed by only two DMU's, where the presence of DMU 21 is observed in the three analyzes. Moreover, in one of the peer-to-peer analyzes it was observed that the model attributed the highest value in the Normalized Compound to the DMU 20 that was not efficient. In this case, the composite and normalized composite indicators were disregarded from the analysis, using standard and inverted efficiency indicators. This article includes the identification of the terminals with the best and worst management practices.

KEYWORDS: Data Envelopment Analysis (DEA); Solid Waste; Port Terminal.

1 INTRODUÇÃO

O setor portuário é o principal responsável pela entrada e saída de produtos de uma nação. Com a globalização, os portos tornaram-se os principais elementos do sistema logístico em atender às demandas dos mercados internacionais dada a possibilidade de movimentar quantidades significativas de cargas mundo afora. (Guedes *et al.*, 2008; Monié e Vidal, 2006).

Com isso, é possível afirmar a importância do setor portuário no desenvolvimento das economias, locais e/ou de uma nação. Entretanto, há diversos problemas gerados pelas atividades portuárias, como por exemplo, a poluição do ar gerado pela movimentação de navios, caminhões e entre outros, diversos tipos de resíduos gerados pelos navios – resíduo orgânico, resíduos oleosos, entre outros (Bertoloto e Mello, 2011; Mohee *et al.*, 2012).

No Brasil, o Poder Legislativo sancionou na forma da lei nº 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que visa solucionar os diversos problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. (Brasil, 2010). Para isto, a PNRS institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, entre outros (Brasil, 2010).

A nova legislação obriga o setor portuário a adotar medidas que visem um sistema eficiente de gestão integrado de resíduos. Para isto, é necessário identificar as fontes geradoras de resíduos, assim como a tipologia e o quantitativo de resíduos gerados (Brasil, 2010).

A partir disto, o problema de pesquisa neste artigo é: de que forma é possível analisar a eficiência na geração de resíduos nos terminais portuários brasileiros? Para buscar responder o problema de pesquisa apresentado, este trabalho possui o seguinte objetivo geral: analisar a eficiência na geração de resíduos nos terminais portuários que movimentam, de forma predominante, a carga geral, utilizando o método de análise envoltória de dados (DEA).

A partir da introdução, este trabalho apresenta na seção 2 o referencial teórico, na seção 3, os dados das variáveis e o modelo DEA adotado, na seção 4 a análise dos resultados. A seção 5 apresenta a conclusão, as limitações encontradas e sugestões para novos estudos e, por fim, as referências utilizadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos sólidos

A legislação brasileira define resíduos sólidos como o bem resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final seja obrigatória ou não, nos estados sólidos ou semissólidos, assim como no estado gasoso desde que contidos em recipientes e no estado líquido desde que suas particularidades se tornem inviáveis o lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água (Brasil, 2010).

Com isso, Brasil (2010) os classifica quanto à sua origem e ao grau de periculosidade. Quanto à origem;

- a) Resíduos domiciliares: originados nas atividades domésticas em residências urbanas,
- b) Resíduos de limpeza urbana: “originados da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana”,
- c) Resíduos industriais; “gerados nos processos produtivos e instalações industriais”,
- d) Resíduos de serviços de saúde: “gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS”,

- e) Resíduos de serviços de transporte: “originados nas atividades de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira”, e entre outros (Brasil, 2010).

No que se refere à periculosidade;

- a) Resíduos perigosos: em razão das características quanto à inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, os resíduos apresentam risco considerável à saúde pública ou à qualidade ambiental (Brasil, 2010);
- b) Resíduos não perigosos: todos os resíduos que não se enquadram no item anterior (Brasil, 2010);

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) tem catalogado os tipos de resíduos sólidos, por meio da Lista Brasileira de Resíduos Sólidos, publicada em na forma de Instrução Normativa (IN) nº 13, publicado em 2012, que determina a obrigatoriedade no uso desta Lista nos empreendimentos e atividades licenciados ambientalmente pelo IBAMA na prestação de informações e no gerenciamento de resíduos sólidos, resíduos perigosos e rejeitos.(IBAMA, 2012). Com isso, conclui-se que os portos e os terminais portuários brasileiros devem utilizar a Lista Brasileira de Resíduo Sólidos.

Apesar desta obrigatoriedade legal, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) orienta os portos brasileiros a adotarem o Manual Detalhado de Instalações Portuárias para Recepção de Resíduos, elaborado pela MARPOL 73/78 (convenção internacional para a prevenção da poluição por navios) como referência para o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nas atividades portuários. Este último não apresenta as tipologias de resíduos a serem considerados, e sim, as categorias por meio dos anexos I, II, III, IV e V do manual (ANTAQ, 2004).

2.2 Geração de Resíduos em Portos

O trabalho de Mohee *et al* (2012) apresentou uma previsão de resíduos gerados a partir da previsão de atracções no porto. Para isto, foi realizado o levantamento das informações quanto a atracção e carga movimentada no ano de 2008 – resultando em 2.015 atracções e 2,3 milhões de toneladas de carga containerizada movimentada. Nos anos entre 2009 e 2010, o montante de resíduos gerados foi de 5.010 toneladas. Ao considerar o ano de 2009 como o ano base, os autores previram 2.218 atracções. (Mohee *et al.*, 2012).

Um outro trabalho que também merece atenção é o de Pereira *et al* (2014) que apresenta os procedimentos adotados no gerenciamento dos resíduos sólidos gerados no porto de Santos, situado no Brasil (Pereira *et al.*, 2014).

O trabalho de Pereira *et al* (2014) possibilitou destacar o quantitativo de resíduos coletados pela empresa Marim Gerenciamento de Resíduos Ltda. ME, onde foi possível identificar as tipologias e representatividade dos resíduos gerados no porto de Santos. Conforme é possível observar a Figura 1, o entulho representa 33,64% (588,58 toneladas); os resíduos orgânicos 28,89% (505,54 toneladas); os resíduos comerciais 21,05% (368,3 toneladas). Os resíduos classe I, madeira, adubo e recicláveis representaram juntos, 16,43% (287,47 toneladas) (Pereira *et al.*, 2014).

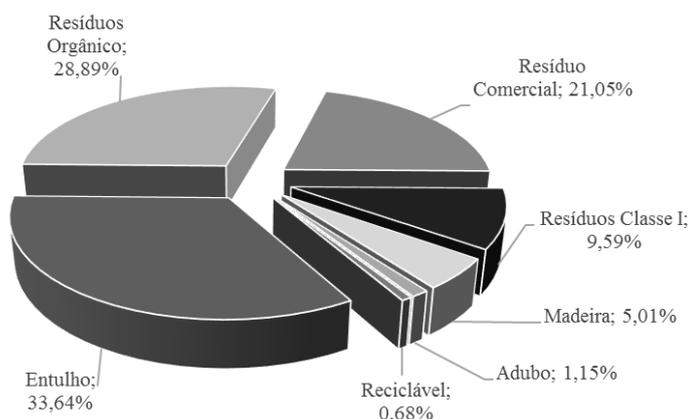


Figura 1- Porcentagem de resíduos coletados pela Marim Gerenciamento de Resíduos Ltda, situada no porto de Santos, nos primeiros meses de 2010.

Fonte: Adaptado de (Pereira *et al.*, 2014)

2.3 Análise Envoltória de Dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (DEA) foi proposta por Charnes *et al.* (1978) com o intuito de avaliar a eficiência técnica das escolas públicas primárias nos Estados Unidos da América (EUA). Com a difusão do DEA no mundo, diversas aplicações foram realizadas nos mais diversos setores econômicos, como por exemplo, no setor portuário, indústrias, setor de serviço, entre outros (Charnes *et al.*, 1978; Cooper *et al.*, 2006; Lins e Meza, 2000).

Um dos principais conceitos abordado em DEA é a definição de DMU (*Decision Making Unit*) – também conhecidas por Unidades Tomadoras de Decisão (UTD) – que são as entidades a que se deseja avaliar pelo DEA. As DMU's devem consumir os mesmos *inputs* para produzir os mesmos *outputs*. Com isso, a definição de DMU não abrange apenas o meio corporativo, mas também os governos, agências sem fins lucrativos, escolas, universidades, bancos, forças armadas, hospitais, portos, aeroportos, forças policiais, países, regiões, entre outros. (Bertoloto e Mello, 2011; Cooper *et al.*, 2006; Sousa Júnior, 2010; Tiscoski, 2016).

O método DEA possibilita analisar a eficiência comparativa num dado conjunto de DMU's, onde é possível observar o desempenho de cada DMU perante o conjunto. Além disto, é possível construir uma fronteira eficiente a partir da relação dos *outputs* e dos *inputs*, de cada DMU, considerados no problema. As DMU's menos eficientes se situarão abaixo da fronteira eficiente, denominada de envoltória convexa (Acosta *et al.*, 2011; Cooper *et al.*, 2006; Lins e Meza, 2000; Rodrigues *et al.*, 2015).

O cálculo da eficiência é dado pela razão entre a soma ponderada dos *outputs* e a soma ponderada dos *inputs*. Para isto, o modelo DEA atribui pesos aos *inputs* e *outputs* para cada DMU observada (DMU_o). Em seguida, as DMU_o são avaliadas perante o conjunto de DMU's selecionados, formando, assim, a fronteira eficiente de produção. As DMU's que eficientes servem de referência para as ineficientes - conhecidas também por *benchmark* (Acosta *et al.*, 2011; Bertoloto e Mello, 2011; Charnes *et al.*, 1978; Rodrigues *et al.*, 2015).

2.4 Modelos clássicos de DEA

O método DEA dispõe de dois modelos clássicos; CCR – conhecido também por CRS (*Constant Return to Scale*) – e o BCC – conhecido também por VRS (*Variable Return Scale*). O modelo CCR opera com retornos constantes de escala, ou seja, a variação no consumo dos recursos é proporcional à obtenção dos produtos. Por outro lado, o modelo BCC não adota esta proporcionalidade, possibilitando que as DMU's consumam quantidades significativas de recursos e

tenham retornos decrescentes de escala e vice-versa (Bertoloto e Mello, 2011; Charnes *et al.*, 1978; Guedes *et al.*, 2008; Santos e Sproesser, 2013).

Ambos os modelos possibilitam adotar duas orientações;

- Orientação a *output*: quando se deseja obter o máximo de produtos sem que altere a quantidade de insumos consumidos.
- Orientação a *input*: quando se deseja minimizar os recursos disponíveis sem que altere a quantidade de produtos obtidos. (Bertoloto e Mello, 2011; Charnes *et al.*, 1978; Santos e Sproesser, 2013)

A Quadro 1 apresentam os trabalhos, nacionais e internacionais, que utilizaram DEA para avaliar o desempenho do setor portuário.

Quadro 1- Relação dos trabalhos publicados que utilizaram DEA no setor portuário.

Ano	Autor	Modelo	Input	Output
2008	Guedes <i>et al.</i> ,	BCC	Quantidade de Berços Quantidade de Funcionários Área do terminal (m ²)	Teus/Guindaste; Teus;
2014	Rubem, <i>et al.</i> ,	CCR E BCC	Input Unitário	Número de atracções; Movimentação de carga em contêineres (TEU); Movimentação de carga solta (tonelada); Movimentação de carga em granel líquido (tonelada); movimentação de granel sólido (tonelada);
1993	Roll e Hayuth	CCR	Capital Nº de funcionários Tipo de Carga	Nível de serviço Movimentação de carga Satisfação dos usuários Nº de atracções
1999	Martinez-Budria <i>et al</i>	BCC	Despesas com pessoal Taxas de depreciação	Total de carga movimentada Receita obtida no aluguel de facilidades Outros gastos
2001	Tongzon	CCR	Nº de guindaste Nº de berços de atracção Nº de rebocadores Nº de funcionários Área do terminal <i>Delay time</i>	Movimentação de contêiner em TEU's Movimentação TEU's por hora de trabalho/navio
2001	Valentine e Gray	CCR	Tamanho dos Berços Investimento	Nº de contêineres Total de toneladas movimentadas
2002	Itoh	CCR e BCC	Área do terminal Nº de berços Nº de funcionários Nº de guindastes	TEU's
2004	Park e De	CCR e BCC	Capacidade dos berços em receber navios Capacidade de manuseio de carga	Movimentação de carga Nº de chamadas de navios Receitas Satisfação do cliente

Ano	Autor	Modelo	Input	Output
2013	Chang	SDM-DEA	Nº de trabalhadores empregados Comprimento do cais Área do terminal Energia consumida (TOE)	Quantidade de embarcações Carga movimentada Emissão de CO ₂
2013	Sousa Jr., <i>et al</i>	CCR	Calado (m) Extensão do berço (m) Capacidade estática (TEU)	Quantidade de navios Movimentação de carga (TEU) Movimentação horária da carga (Un/h)

Fonte: Elaboração Própria

O trabalho de Guedes *et al.*, (2008) compara o modelo DEA utilizado por Rios, Maçada e Backer (2004) e o utilizado em sua pesquisa. Enquanto que Rios, Maçada e Backer (2004) utilizaram o modelo CCR orientado a *input* considerando 4 *inputs* e 1 *output*, o modelo proposto por Guedes *et al.*, (2008) utilizou o modelo DEA BCC orientado a *output* considerando como *inputs*: número de berços, tamanho da área do terminal e quantidade de funcionários. E os *outputs* foram: a quantidade de TEU's por guindaste (relação de produtividade) e quantidade de TEU's movimentados. Entretanto, os respectivos autores utilizaram DMU's artificiais como um método alternativos de simulação de um conjunto de restrições aos pesos. (Guedes *et al.*, 2008; Rios *et al.*, 2004)

O artigo de Rubem *et al.*, (2014) utilizou dois métodos para avaliar o desempenho das DMU's que foram o DEA CCR e BCC, ambos orientados a *output* na formulação do envelope e o método de Copeland. Os autores visavam avaliar a importância relativa de cada unidade do setor portuário brasileiro para o comércio nacional, dado o tipo de carga movimentada por cada unidade portuária. Para isso, os autores criaram um conjunto de *clusters* e segregaram tais portos conforme o perfil da carga de cada unidade portuária. Neste artigo, a própria unidade portuária foi considerada como o *input* (*input* unitário) e para *output* foram considerados o número de atracções, quantidade de carga movimentada em contêineres (TEU), tonelagem movimentada de carga solta, tonelagem movimentada de carga em granel líquido; e a tonelagem de carga movimentada em granel sólido. (Rubem *et al.*, 2014)

O artigo de Roll e Hayuth (1993) é considerado o trabalho pioneiro na defesa da aplicação de DEA no setor portuário. Entretanto, os autores limitaram na apresentação teórica ao invés da aplicação propriamente dita. (Roll e Hayuth, 1993)

O trabalho de Martinez-Budria *et al* (1999) aplicou o modelo DEA-BCC com o intuito de avaliar o desempenho de 26 portos contêineres espanhóis, sendo estes segregados em três grupos conforme o grau de complexidade de cada um. (Martinez-Budria *et al.*, 1999)

Tongson (2001) avaliou o desempenho de 16 terminais de diferentes países considerando dois *outputs*, movimentação de contêiner (TEU) e a movimentação de contêineres (TEU) por hora de trabalho por navio, e seis *inputs*, número de guindaste, número de berços de atracção, número de rebocadores, número de funcionários, área do terminal e *Delay time*. (Tongson, 2001)

O artigo de Chang (2013) analisou a eficiência ambiental em portos na Coreia utilizando o modelo DEA-Aditivo, considerando dados de desempenho ambiental e econômico, estimando, assim, o potencial de redução de CO₂ pelos portos do estudo. O artigo determina que estes portos foram ineficientes no ponto de vista econômico, e eficientes ao considerar o desempenho ambiental e econômico simultaneamente. O modelo adotado no trabalho foi o *Slacks-Based Measure Data Envelopment Analysis Model* (SBM-DEA) para avaliar a eficiência ambiental dos portos na Coreia do Sul. Além das variáveis de entrada e saída, Chang (2013) segregou as variáveis de saída em *outputs* desejáveis e *outputs* indesejáveis, como é o caso da emissão de CO₂. (Chang, 2013)

Como é possível observar na Quadro 1, dos 10 trabalhos levantados, apenas um diz respeito ao desempenho ambiental portuário – Chang (2013). Com isso, a partir deste levantamento é possível afirmar que a quantidade de trabalhos acadêmicos disponíveis que utilizaram DEA nesta temática é baixa.

Os *outputs* indesejados são externalidades inerentes ao processo produtivo, como por exemplo, à emissão de CO₂, geração de resíduos numa fábrica, entre outros. Logo, não é possível considerar que quanto maior a quantidade de *outputs* indesejados, melhor (Chang, 2013; Rosano-Pena *et al.*, 2013; Tschaffon e Meza, 2011).

Com isso, os *outputs* indesejáveis são tratados para que a eficiência das DMU's seja calculada corretamente. Os autores Tschaffon e Meza (2011) apresentam quatro abordagens na estruturação do modelo DEA para incorporar os *outputs* indesejados ao modelo DEA, que são: *Additive Inverse* (ADD), *Incorporating Undesirable Outputs as Inputs* (INP), *Multiplicative Inverse* (MLT) e *Translation* (TRβ). (Tschaffon e Meza, 2011)

Neste artigo foi adotado à abordagem *Multiplicative Inverse* (MLT), desenvolvido por Golany e Roll (1989). Esta abordagem transforma os *outputs* indesejáveis em *outputs* desejáveis por meio do seu inverso, expresso pela função $f(U) = 1/u$. Entretanto, não é possível utilizar esta abordagem se o valor do *output* indesejável for igual zero. (Tschaffon e Meza, 2011).

Durante a pesquisa, os resultados das análises apresentaram diversas DMU's eficientes. Com isso, foram levantados dois métodos, como forma de contornar o problema da baixa discriminação e a fim de ordenar as DMU's, que são: Fronteira Invertida e Avaliação Cruzada. (Tschaffon e Meza, 2011).

Segundo Tschaffon e Meza (2011), a Avaliação Cruzada não pode ser aplicada no modelo BCC, restando o método da Fronteira Invertida em que permite identificar as DMU's eficientes tanto pela fronteira padrão quanto pela fronteira invertida. Para que as DMU's sejam eficientes é necessário que, além de situarem na fronteira eficiente, é necessário que se situem o mais distante possível da fronteira invertida. Caso os valores da eficiência padrão e invertida sejam máximos para uma determinada DMU, esta é considerada uma falso-positivo. (Cortez *et al.*, 2010; Tschaffon e Meza, 2011).

A forma para ordenar as DMU's é a partir da média aritmética entre a fronteira eficiente e a ineficiente em relação à fronteira invertida, dado pela Equação 1. (Giacomello e Oliveira, 2014; Leta *et al.*, 2005; Tschaffon e Meza, 2011)

Além disto, a eficiência composta normalizada (composta*) é obtida por meio da relação entre a eficiência composta da DMU em análise e do maior valor da eficiência composta do conjunto de DMU's (Equação 2). (Giacomello e Oliveira, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

As variáveis consideradas neste estudo foram quantidade de carga movimentada (toneladas), quantidade de atracções e quantidade de resíduos gerados (toneladas), no período de tempo entre 2011 e 2013.

O quantitativo de resíduos sólidos foi extraído por meio do projeto realizado em parceria com a Secretaria Especial de Portos da Presidência da República (SEP/PR) e a COPPE/UFRJ, no que permitiu o levantamento do inventário de resíduos de 22 portos brasileiros. Além disto, foi possível identificar que, em diversos portos, a infraestrutura mínima necessária para o manejo

adequado dos resíduos sólidos está aquém, conforme determina a ANVISA (2008) por meio da RDC 56/2008 - Regulamento Técnico de Boas Práticas Sanitárias no Gerenciamento de Resíduos Sólidos nas Áreas de Portos, Aeroportos, Passagens de Fronteiras e Recintos Alfandegários. (ANVISA, 2008; SEP e UFRJ, 2014)

Os dados de carga movimentada e quantidade de atracções foram extraídos do Sistema de Informações Gerenciais (SIG) da ANTAQ.

Segundo SEP e UFRJ (2014), os dados da geração de resíduos foram extraídos de documentos de fontes oficiais disponíveis na internet. Com isso, os dados da geração de resíduos foram extraídos dos Relatórios de Diagnóstico do Programa de Conformidade. Os dados de carga movimentada e atracção foram extraídos do Sistema de Informações Gerenciais (SIG). O período considerado compreende os anos de 2011 a 2013.

3.1.1 Dados da geração de resíduos sólidos nos portos brasileiros

Segundo SEP e UFRJ (2014) disponibilizaram os inventários de resíduos sólidos de 22 portos brasileiros, que são: Rio de Janeiro, Rio Grande, Itaguaí, Paranaguá, São Francisco do Sul, Vila do Conde, Itaquí, Natal, Aratu-Candeias, Suape, Fortaleza, Maceió, Recife, Belém, Itajaí, Vitória, Imbituba, São Sebastião, Salvador, Cabedelo Ilhéus e Santos. Com exceção do porto de Santos, o montante de resíduos gerados no período supracitado foi pouco mais de 394 mil toneladas de resíduos. (SEP e UFRJ, 2014)

Para o levantamento do inventário de resíduos sólidos nos portos, SEP e UFRJ (2014) desenvolveu um procedimento padrão que foi aplicado primeiro no porto do Rio de Janeiro como teste e, então, após ajustes nos procedimentos padrão, aplicados nos demais portos.

O procedimento padrão contou com o levantamento de documentos que comprovam o armazenamento, tratamento, transporte e destinação dos resíduos gerados junto as autoridades portuárias. Desta forma, é importante destacar que há três tipos de documentos, que são, inventários de resíduos, manifesto de transportes e o plano de gerenciamento de resíduos (SEP e UFRJ, 2014).

O inventário de resíduos é o documento gerado pelos terminais arrendados ou terceirizados que prestam serviço dentro da área portuária. Este documento é um resumo mensal da movimentação de resíduos. O manifesto de transportes, em geral, este documento é normatizado pela secretaria estadual ou municipal de meio ambiente, que exige o registro da atividade de transporte de resíduos sólidos. A única tipologia de resíduo que está isento dessa exigência são os resíduos classificados como lixo comum. E, o plano de gerenciamento de resíduos “é um documento que aponta as diretrizes para os resíduos sólidos, desde a geração até a destinação, sob a responsabilidade da Administração Portuária.” (SEP e UFRJ, 2014)

O resultado do levantamento identificou que o porto do Rio de Janeiro gerou um montante aproximado de 298 mil toneladas, o que representa 61,4% do total de resíduos gerados nos portos (Figura 2). O segundo que mais gerou resíduo foi o porto de Itaguaí, que contabilizou um total aproximado de 49 mil toneladas (10,11%), muito distante do porto do Rio de Janeiro. Em seguida, os portos de Rio Grande, Paranaguá, Vila do Conde, São Francisco do Sul e Salvador geraram aproximadamente 46 mil toneladas (9,52%), 30 mil toneladas (6,32%), 19 mil toneladas (3,99%), 12 mil toneladas (2,45%), 8 mil toneladas (1,7%). (Freitas, 2014; SEP e UFRJ, 2014)

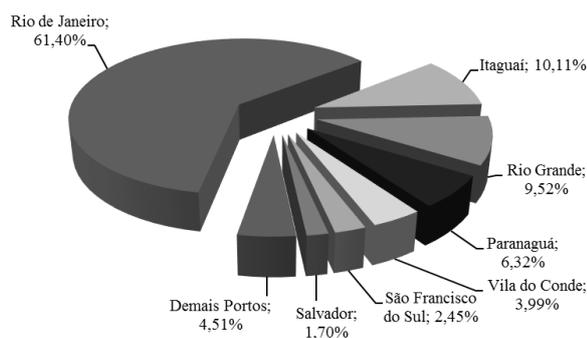


Figura 2- Relação de resíduos gerados nos portos, no período entre 2011 e 2013

Fonte: Adaptado de (SEP e UFRJ, 2014)

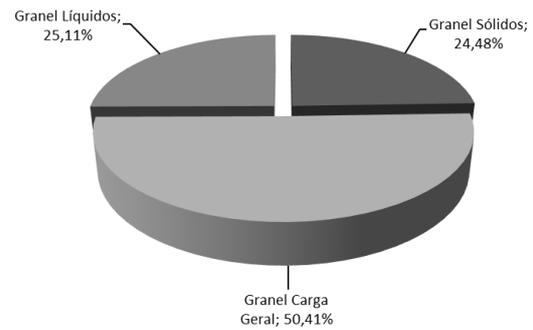


Figura 3- Percentual da quantidade de resíduos gerados nos terminais portuários, por natureza da carga, no período de 2011 a 2013.

Fonte: (SEP e UFRJ, 2014)

Por fim, os portos que totalizaram um valor inferior 1% na quantidade de resíduos gerados foram incluídos na categoria “Demais Portos”, que são; Itaquí, Recife, Belém, Natal, Aratu-Candeias, Suape, Vitória, Fortaleza, Maceió, Itajaí, São Sebastião, Cabedelo, Imbituba e Ilhéus. (SEP e UFRJ, 2014)

A partir da Figura 3, os terminais de Carga Geral foram responsáveis por quase a metade (50,41%) do quantitativo total de resíduos gerados pela amostra, o que em valores absolutos representam, aproximadamente, 90 mil toneladas. Os terminais de granel líquido foram responsáveis por 25,11% (quase 45 mil toneladas) e, por fim, 24,48% (quase 44 mil toneladas) de granel sólido. (SEP e UFRJ, 2014).

3.1.2 Carga movimentada e atracação

A movimentação de carga apresentou uma realidade diferente quando comparado com a geração de resíduos. Do total de cargas movimentadas - pouco mais de 338 milhões de toneladas -, 76,85% foi de granel sólido (260 milhões de toneladas, aproximadamente), 7,46% granel líquido (25 milhões de toneladas, aproximadamente) e, por fim, 15,69% carga geral (53 milhões de toneladas, aproximadamente) (Figura 4). (ANTAQ, 2015)

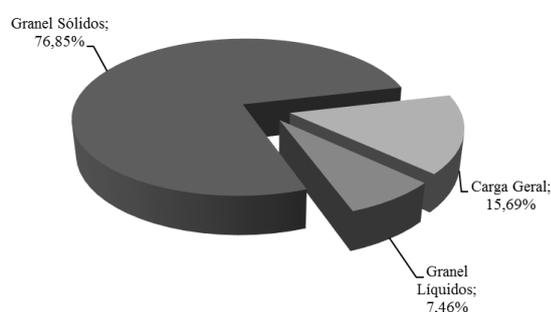


Figura 4- Percentual de carga movimentada nos terminais portuários, por natureza da carga, no período de 2011 a 2013.

Fonte: (ANTAQ, 2015)

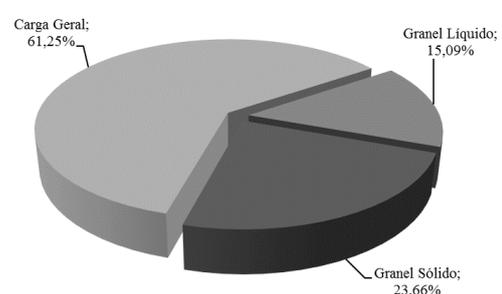


Figura 5- Percentual de atracções nos terminais portuários por natureza da carga, no período de 2011 a 2013.

Fonte: (ANTAQ, 2015)

Nos dados de atracação (Figura 5), a carga geral representou 61,25% (pouco mais de 13 mil atracções). Os terminais de graneis sólidos e líquidos representaram, respectivamente, 23,66% e 15,09% (pouco mais de cinco mil e quase 3,3 mil atracções, respectivamente). (ANTAQ, 2015).

Ao analisar as duas primeiras variáveis (resíduos gerados e carga movimentada), não foi possível estabelecer uma relação direta entre ambas. Pois, como é possível observar na Figura 3, os terminais de granel sólido – por exemplo –, geraram 24,48% de resíduos enquanto a movimentação de carga representou 76,85% da amostra. O mesmo ocorre nos terminais de Carga Geral e Granel Líquido. Por outro lado, os terminais de carga geral foram os que mais geraram resíduos e os que apresentaram a maior quantidade de atracções da amostra. Entretanto, os terminais de granel líquido foram os que menos tiveram atracções, sendo que estes não foram os que menos geraram resíduos.

3.2 Método

A partir das três variáveis apresentadas (carga movimentada, atracção e resíduos sólidos), duas são *outputs* desejáveis (carga movimentada e atracção) e um *output* indesejável (resíduos sólidos), que foi transformado num *output* desejado conforme o método MLT. Sendo assim, foi considerado o *input* unitário nas análises.

Neste artigo foi adotado o modelo DEA-BCC orientado a *output*. Além disto, foi utilizado a fronteira invertida com o intuito de aumentar a discriminação e ordenar as DMU's eficientes, conforme Equação 1 e Equação 2.

$$Efic.Composta = \frac{Efic.Padrão + (1 - Efic.Invertida)}{2} \quad \text{Equação 1}$$

$$Efic.Composta * = \frac{Efic.Composta}{Máximo (Efic.Composta)} \quad \text{Equação 2}$$

Nas análises, os terminais portuários precisam ser homogêneos, logo, estes foram segregados em três *clusters* considerando as naturezas das cargas; granel sólido, granel líquido e carga geral. Para integrar o *cluster*, a representatividade da natureza da carga deve ser de no mínimo 60% do total de carga movimentada do terminal, no período que compreende 2011 e 2013. Nas análises, considerou o *cluster* que mais gerou resíduos da amostra. Sendo assim, o *cluster* carga geral foi selecionado, conforme é possível observar na Figura 3.

O *cluster* Carga Geral é composto, inicialmente, por 26 terminais portuários. Entretanto, cinco terminais foram retirados da lista de DMU's porque geraram menos de uma tonelada de resíduos sólidos, restando, assim, 21 terminais. A Tabela 1 apresenta a relação das DMU's que foram analisadas e os valores de resíduos sólidos gerados - transformados conforme a abordagem MLT - e carga movimentada, em toneladas, assim como a quantidade de atracção. (ANTAQ, 2015; SEP e UFRJ, 2014)

Tabela 1- Relação das DMU's e as variáveis consideradas no problema

DMU	Porto	Terminal/Operador Portuário	(Resíduos ⁻¹ × 10 ⁵) (ton ⁻¹ × 10 ⁵)	Carga (ton)	Atracção
1	Rio de Janeiro	Libra Terminais SA	2,73	5.908.317	2.188
2	Rio de Janeiro	Multi-Rio Operações Portuárias SA	3,10	10.226.970	3.081
3	Itaguaí	Sepetiba Tecont SA	8,67	11.506.369	2.716
4	Natal	Seamaster Ltda	43,81	425	3
5	Belém	Cma Cgm Do Brasil Agencia Maritima Ltda	54,43	12.615	6
6	Vitória	Autoridade Portuária	66,84	586	1
7	São Francisco do Sul	Tesc - Terminal Santa Catarina SA	69,03	7.533.834	1.160
8	Itajaí	Apm Terminals Itajaí SA	116,15	12.329.930	2.017

DMU	Porto	Terminal/Operador Portuário	(Resíduos ⁻¹ × 10 ⁵) (ton ⁻¹ × 10 ⁵)	Carga (ton)	Atracação
9	Suaape	Wilson Sons SA	175,44	19.962	3
10	Paranaguá	Agencia Maritima Orion Ltda	199,61	2.295	5
11	Rio Grande	Sagres Agenciamento Marítimo Ltda	314,72	2.123.566	753
12	Paranaguá	Oceanus Agencia Maritima SA	795,68	7.030	2
13	Paranaguá	Transgolf Agencia Maritima Ltda	859,72	1.236	1
14	Paranaguá	Marcon Servicos de Despachos Em Geral Ltda	1.288,71	2.397.312	991
15	Belém	Iss Marine Service Ltda	1.774,31	751	3
16	Vila do Conde	B F Fortship (Pa) Agencia Maritima Ltda	4.098,36	12.502	1
17	Natal	Superservice Inspeções E Operações Portuárias Ltda	7.531,25	58.168	55
18	Fortaleza	Brandao Filhos Fortship Pe Agencia Maritima Ltda	10.424,27	266.665	171
19	Rio de Janeiro	Oceanus Agencia Maritima SA	22.146,19	94.579	55
20	Fortaleza	Tracol - Agencia Marítima Transc. Ltda	59.171,60	13.546	1
21	Vila do Conde	Amazon Agency Ltda	66.666,67	2.913	2

Fonte: (ANTAQ, 2015; SEP e UFRJ, 2014)

Para que seja possível comparar os valores de carga movimentada, atracação e resíduos gerados entre os portos de Louis Harbour e Rio de Janeiro, foi necessário calcular a previsão de carga movimentada no ano de 2009, da seguinte forma: $(carga\ movimentada_{2008} \times \frac{atracacao_{2009}}{atracacao_{2008}})$, conforme Tabela 2. Os valores das variáveis do porto do Rio de Janeiro são referentes aos terminais da Tabela 1. Além disto, com o intuito de facilitar esta análise foi adotado o valor absoluto dos resíduos gerados em ambos os portos.

Tabela 2- Comparação dos valores apresentados pelas variáveis consideradas no problema entre os portos do Rio de Janeiro de Louis Harbour

Porto	Resíduos Gerados	Carga (ton)	Atracação
Rio de Janeiro (2011)	68.897,86	16.229.866,00	5.324
Louis Harbour (2009)	5.010	2.531.712,16	2.218

Fonte: Adaptado de (Mohee *et al.*, 2012; SEP e UFRJ, 2014)

A partir da Tabela 2 é possível observar que o porto do Rio de Janeiro atracou 40% mais navios, movimentou 541% mais cargas e gerou 1.275% mais resíduos na comparação com o porto de Louis Harbour. Além disto, o porto do Rio de Janeiro gerou 12,94 toneladas de resíduo por embarcação atracada, enquanto que o outro porto gerou 2,26 toneladas por atracação. Para cada 235,56 toneladas de carga movimentada, o porto do Rio de Janeiro gera uma tonelada de resíduo, enquanto que o porto Louis Harbour precisa movimentar 505,33 toneladas para gerar a mesma quantidade de resíduo. A partir disto, é possível concluir que o porto Louis Harbour se mostrou mais eficiente na geração de resíduos nas operações de movimentação de carga e atracação de navios, quando comparado com o porto do Rio de Janeiro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas análises do modelo DEA, os terminais que compõem a fronteira eficiente foram: Libra Terminais SA (DMU 1), Multi-Rio Operações Portuárias SA (DMU 2), Sepetiba Tecont SA (DMU 3), Apm Terminals Itajaí SA (DMU 9), Marcon Servicos de Despachos em Geral Ltda (DMU 14), Superservice Inspeções e Operações Portuárias Ltda (DMU 17), Brandao Filhos Fortship Pe Agencia Maritima Ltda (DMU 18) e Amazon Agency Ltda (DMU 21).

A elevada quantidade de DMU's na fronteira eficiente torna a análise pouco útil, pois mascara as DMU's falsas eficientes, além da baixa discriminação entre as DMU's. Para sanar este inconveniente, foi utilizado o método da fronteira invertida que, além de aumentar a discriminação, ordenar as DMU's eficientes do conjunto.

A partir disto, o terminal mais eficiente foi o Brandao Filhos Fortship Pe Agencia Maritima Ltda (DMU 18), situado no porto de Fortaleza. Para isto, o modelo desconsiderou a variável carga movimentada. Além disto, a DMU 18 apresentou o quarto maior valor na variável inverso do resíduo e foi o oitavo terminal que mais obteve atracções da amostra. Apesar de ser a mais eficiente da amostra, a DMU 18 não foi referência para nenhuma outra, a não ser por ela mesma.

O segundo terminal mais eficiente foi o Superservice Inspeções e Operações Portuárias Ltda (DMU 17), situado no porto de Natal. O modelo atribuiu pesos nas variáveis atracção e resíduo, com uma diferença no valor do peso atribuído para a atracção que, por sua vez, foi ligeiramente maior que a DMU 18, conforme é possível observa na Tabela 1. O terminal Marcon Serviços de Despachos em Geral Ltda, situado no porto de Paranaguá (DMU 14), atribuiu pesos às variáveis quanto ao resíduo e atracção. Apesar da DMU 14 não ser a mais eficiente do conjunto, esta é referência para as DMU's 5, 13, 15 e 19. (Tabela 3 e Tabela 4). Entretanto, a DMU 14 não é a única referência destas DMU's. Ao analisar de forma gráfica, a DMU 5, por exemplo, está a 0,8964 – de uma escala de zero a um – mais próxima da DMU 14 e 0,1036 da DMU 21. Por outro lado, a DMU 13 está a 0,709 mais próxima da DMU 14 e 0,093 mais próxima da DMU 21. Neste último caso, a DMU 13 assume mais as características da DMU 21 do que da DMU 14.

O quarto terminal mais eficiente foi a Apm Terminals Itajaí S.A. (DMU 8), situado no porto de Itajaí. Este terminal foi o que mais movimentou carga da amostra, o décimo sexto com o maior valor para o inverso do resíduo e o quarto com mais atracções. Apesar disto, o modelo desconsiderou das análises a variável de atracção, atribuiu peso apenas nas variáveis quanto ao resíduo e carga movimentada. A eficiência invertida foi de 0,284 e foi referência para as DMU's 7, 9, 16 e 20. (Tabela 3 e Tabela 4). A única DMU que apresentou valor igual a um de referência para a DMU 8 foi a DMU 7. As demais apresentaram valores que confirmam a proximidade com a DMU 21.

A Amazon Agency Ltda (DMU 21), situada no porto de Vila do Conde, apresentou 50% de ineficiência. Os pesos foram atribuídos da mesma forma que a DMU 8, pois, esta DMU foi a que apresentou o maior valor para o inverso do resíduo da amostra. A quantidade de atracções foi baixa o suficiente para que o modelo desconsiderasse da análise. A DMU 21 foi referência para as DMU's 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19 e 20. (Tabela 3 e Tabela 4). Destas, as que estão mais próximas, pelo menos 0,50, são; DMU 6 (0,7558), DMU 9 (0,6189), DMU 10 (0,6487), DMU 12 (0,9474), DMU 13 (0,9290), DMU 15 (0,8993), DMU 16 (0,9840), DMU 19 (0,8579) e DMU 20 (0,9989).

O terminal Sepetiba Tecon S.A. (DMU 3), situado no porto de Itaguaí, apresentou valor de 0,743 na eficiência invertida, ou seja, o terminal está muito próximo da fronteira de ineficiência. O modelo desconsiderou a variável resíduo nas análises, atribuindo pesos apenas nas variáveis de atracção e carga movimentada.

Os terminais Multi-Rio Operações Portuárias S.A. (DMU 2) e Libra Terminais S.A. (DMU 1) estão situados no porto do Rio de Janeiro e apresentaram os mesmos valores para os pesos. Em ambos os casos, o modelo desconsiderou a variável carga movimentada. Entretanto, a DMU 1 é uma falso-positiva por situar-se na fronteira eficiente e na fronteira de ineficiência. Ou seja, na avaliação benevolente do modelo DEA, o terminal é eficiente e na avaliação pessimista, o terminal também é “eficiente” (Tabela 3 e Tabela 4).

Tabela 3- Resultados da avaliação considerando as três variáveis (resíduo, carga e atracação).

Porto	Terminal/Operador Portuário	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Rio de Janeiro	Libra Terminais SA	1	1,000000	1,000000	0,500000	0,501586
Rio de Janeiro	Multi-Rio Operações Portuárias SA	2	1,000000	0,880645	0,559677	0,561452
Itaguaí	Sepetiba Tecont SA	3	1,000000	0,734371	0,632814	0,634821
Natal	Seamaster Ltda	4	0,001630	1,000000	0,000815	0,000818
Belém	Cma Cgm Do Brasil Agencia Maritima Ltda	5	0,006753	0,804256	0,101248	0,101569
Vitória	Autoridade Portuária	6	0,001327	1,000000	0,000663	0,000665
São Francisco do Sul	Tesc - Terminal Santa Catarina SA	7	0,611020	0,482902	0,564059	0,565848
Itajaí	Apm Terminals Itajaí SA	8	1,000000	0,284715	0,857643	0,860362
Suape	Wilson Sons SA	9	0,004247	0,373146	0,315551	0,316551
Paranaguá	Agencia Maritima Orion Ltda	10	0,004615	0,304664	0,349976	0,351085
Rio Grande	Sagres Agenciamento Marítimo Ltda	11	0,329544	0,133382	0,598081	0,599978
Paranaguá	Oceanus Agencia Maritima SA	12	0,012597	0,500000	0,256299	0,257111
Paranaguá	Transgolf Agencia Maritima Ltda	13	0,013860	1,000000	0,006930	0,006952
Paranaguá	Marcon Servicos De Despachos Em Geral Ltda	14	1,000000	0,033563	0,983218	0,986336
Belém	Iss Marine Service Ltda	15	0,029531	0,671537	0,178997	0,179565
Vila do Conde	B F Fortship (Pa) Agencia Maritima Ltda	16	0,062473	1,000000	0,031237	0,031336
Natal	Superservice Inspeções E Operações Portuárias Ltda	17	1,000000	0,018182	0,990909	0,994051
Fortaleza	Brandao Filhos Fortship Pe Agencia Maritima Ltda	18	1,000000	0,006322	0,996839	1,000000
Rio de Janeiro	Oceanus Agencia Maritima SA	19	0,385964	0,018182	0,683891	0,686060
Fortaleza	Tracol - Agencia Marítima Transc. Ltda	20	0,888461	1,000000	0,444231	0,445639
Vila do Conde	Amazon Agency Ltda	21	1,000000	0,500000	0,750000	0,752378

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 4- Benchmarks das DMU's na análise das três variáveis

DMU	DMU 1	DMU 2	DMU 3	DMU 8	DMU 14	DMU 17	DMU 18	DMU 21
DMU 1	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
DMU 2	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
DMU 3	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
DMU 4	0,000000	0,596964	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,403036
DMU 5	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,896418	0,000000	0,000000	0,103582
DMU 6	0,000000	0,244190	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,755810

DMU	DMU 1	DMU 2	DMU 3	DMU 8	DMU 14	DMU 17	DMU 18	DMU 21
DMU 7	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
DMU 8	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
DMU 9	0,000000	0,000000	0,000000	0,381048	0,000000	0,000000	0,000000	0,618952
DMU 10	0,000000	0,351227	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,648773
DMU 11	0,842156	0,143559	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,014284
DMU 12	0,000000	0,038674	0,013886	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,947440
DMU 13	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,070931	0,000000	0,000000	0,929069
DMU 14	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000
DMU 15	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,100696	0,000000	0,000000	0,899304
DMU 16	0,000000	0,000000	0,000000	0,015998	0,000000	0,000000	0,000000	0,984002
DMU 17	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000
DMU 18	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000
DMU 19	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,142063	0,000000	0,000000	0,857937
DMU 20	0,000000	0,000000	0,000000	0,001001	0,000000	0,000000	0,000000	0,998999
DMU 21	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000

Fonte: Elaboração Própria

4.1 Análise par-a-par – resíduo e carga movimentada

Ao avaliar os terminais considerando apenas duas variáveis nas análises, a fronteira de eficiência muda consideravelmente. Na análise das variáveis quanto ao resíduo e carga movimentada, as DMU's eficientes foram os terminais Apm Terminals Itajaí SA (porto de Itajaí – DMU 8) e a Amazon Agency Ltda (porto de Vila do Conde – DMU 21). Entre estes dois terminais, a que se manteve mais distante da fronteira de ineficiência foi a DMU 8, muito diferente da DMU 21 que se encontra tanto na fronteira eficiente quanto na ineficiente, logo, uma falsa-positiva (Tabela 5).

Tabela 5- Resultados das eficiências padrão, invertida, composta e composta normalizada na avaliação considerando as variáveis resíduo e da carga movimentada.

Porto	Terminal	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Rio de Janeiro	Libra Terminais SA	1	0,47919	1,00000	0,23959	0,25886
Rio de Janeiro	Multi-Rio Operações Portuárias SA	2	0,82944	1,00000	0,41472	0,44808
Itaguaí	Sepetiba Tecont SA	3	0,93321	0,49407	0,71957	0,77745
Natal	Seamaster Ltda	4	0,00069	1,00000	0,00035	0,00037
Belém	Cma Cgm Do Brasil Agencia Maritima Ltda	5	0,00184	0,80365	0,09910	0,10707
Vitória	Autoridade Portuária	6	0,00105	0,72526	0,13790	0,14899
São Francisco do Sul	Tesc - Terminal Santa Catarina SA	7	0,61102	0,36085	0,62509	0,67536
Itajaí	Apm Terminals Itajaí SA	8	1,00000	0,21702	0,89149	0,96319
Suape	Wilson Sons SA	9	0,00425	0,24953	0,37736	0,40771
Paranaguá	Agencia Maritima Orion Ltda	10	0,00318	0,21948	0,39185	0,42337
Rio Grande	Sagres Agenciamento Marítimo Ltda	11	0,17665	0,13297	0,52184	0,56381
Paranaguá	Oceanus Agencia Maritima SA	12	0,01250	0,06046	0,47602	0,51431

Porto	Terminal	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Paranaguá	Transgolf Agencia Maritima Ltda	13	0,01299	0,34385	0,33457	0,36148
Paranaguá	Marcon Servicos De Despachos Em Geral Ltda	14	0,21342	0,03356	0,58993	0,63738
Belém	Iss Marine Service Ltda	15	0,02667	0,61829	0,20419	0,22062
Vila do Conde	B F Fortship (Pa) Agencia Maritima Ltda	16	0,06247	0,03400	0,51424	0,55560
Natal	Superservice Inspeções E Operações Portuárias Ltda	17	0,11765	0,00731	0,55517	0,59983
Fortaleza	Brandao Filhos Fortship Pe Agencia Maritima Ltda	18	0,17792	0,00420	0,58686	0,63406
Rio de Janeiro	Oceanus Agencia Maritima SA	19	0,33977	0,00449	0,66764	0,72134
Fortaleza	Tracol - Agencia Marítima Transc. Ltda	20	0,88846	0,037346	0,925558	1,00000
Vila do Conde	Amazon Agency Ltda	21	1,00000	1,00000	0,50000	0,54022

Fonte: Elaboração Própria

Além desses terminais é preciso observar que a DMU 20 (Tracol - Agencia Marítima Transc. Ltda – porto de Fortaleza) apresentou o maior valor para a composta. Todavia, a DMU 20 não apresentou o maior valor para a eficiência padrão (0,884), nem o menor valor para a invertida (0,037), e apesar disto, foi a que obteve o maior valor na composta e, conseqüentemente, na composta normalizada.

Isto foi possível dado o valor da eficiência invertida que foi muito baixo e ao mesmo tempo o valor da eficiência padrão foi próximo de um. Entretanto, ao considerar o conjunto, esta DMU conseguiu ao mesmo tempo, manter-se mais distante da fronteira ineficiente e mais próxima da fronteira eficiente. A DMU 18, por exemplo, foi a que apresentou o menor valor para invertida, mas sua eficiência padrão foi de 0,177.

As DMU's que não foram eficientes nesta análise, mas foram na análise geral, apenas a DMU 3 apresentou eficiência de 0,933, as demais foram abaixo disto. As referências para as DMU's 1, 2 e 3 foi a DMU 8 (Tabela 6). A DMU 14 apresentou duas referências; a DMU 8 (0,911) e a DMU 21 (0,088). As DMU's 17 e 18 também apresentaram duas referências cada, com a DMU 21 a principal referência (0,960 e 0,878, respectivamente), conforme Tabela 6.

Tabela 6: Benchmarks das DMU's na análise par-a-par considerando resíduo e carga geral

DMU	DMU_8	DMU_21	DMU	DMU_8	DMU_21
DMU_1	1,00000	0,00000	DMU_11	0,97497	0,02503
DMU_2	1,00000	0,00000	DMU_12	0,04538	0,95462
DMU_3	1,00000	0,00000	DMU_13	0,00748	0,99252
DMU_4	0,04963	0,95037	DMU_14	0,91101	0,08899
DMU_5	0,55667	0,44333	DMU_15	0,00205	0,99795
DMU_6	0,04505	0,95495	DMU_16	0,01600	0,98400
DMU_7	1,00000	0,00000	DMU_17	0,03987	0,96013
DMU_8	1,00000	0,00000	DMU_18	0,12135	0,87865
DMU_9	0,38105	0,61895	DMU_19	0,02235	0,97765
DMU_10	0,05832	0,94168	DMU_20	0,00100	0,99900
			DMU_21	0,00000	1,00000

Fonte: Elaboração Própria

4.2 Análise par-a-par – resíduo e atracação

Nesta análise, os terminais eficientes foram: Multi-Rio Operações Portuárias S.A., situada no porto do Rio de Janeiro (DMU 2) e Amazon Agency Ltda, situada no porto de Vila do Conde (DMU 21).

Na DMU 2, o modelo desconsiderou da análise a variável resíduo, atribuindo pesos apenas na variável atracação, onde a maior quantidade de atracações ocorreu neste terminal. Na DMU 21, a eficiência invertida foi menor quando comparado com a DMU 2, logo, a mais eficiente. A composta foi de 0,75, o maior valor do conjunto de DMU's. Esta DMU foi a que teve o maior valor para o inverso do resíduo, logo, como o modelo é orientado a *output* e o inverso do resíduo é um *output* desejável, sua eficiência padrão foi máxima e manteve-se distante da fronteira ineficiente, tabela 7.

Tabela 7: Resultados das eficiências padrão, invertida, composta e composta normalizada na avaliação considerando as variáveis resíduo e atracação

Porto	Terminal/Operador Portuário	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Rio de Janeiro	Libra Terminais SA	1	0,71017	1,00000	0,35508	0,47345
Rio de Janeiro	Multi-Rio Operações Portuárias SA	2	1,00000	0,88140	0,55930	0,74574
Itaguaí	Sepetiba Tecont SA	3	0,88162	0,73439	0,57362	0,76482
Natal	Seamaster Ltda	4	0,00163	1,00000	0,00082	0,00109
Belém	Cma Cgm Do Brasil Agencia Maritima Ltda	5	0,00276	0,80412	0,09932	0,13243
Vitória	Autoridade Portuária	6	0,00133	1,00000	0,00066	0,00088
São Francisco do Sul	Tesc - Terminal Santa Catarina SA	7	0,37752	0,48286	0,44733	0,59644
Itajaí	Apm Terminals Itajaí SA	8	0,65637	0,28469	0,68584	0,91445
Suape	Wilson Sons AS	9	0,00360	0,37314	0,31523	0,42031
Paranaguá	Agencia Maritima Orion Ltda	10	0,00462	0,30465	0,34998	0,46664
Rio Grande	Sagres Agenciamento Marítimo Ltda	11	0,24911	0,13337	0,55787	0,74383
Paranaguá	Oceanus Agencia Maritima SA	12	0,01258	0,50000	0,25629	0,34172
Paranaguá	Transgolf Agencia Maritima Ltda	13	0,01321	1,00000	0,00661	0,00881
Paranaguá	Marcon Servicos De Despachos Em Geral Ltda	14	0,34095	0,03355	0,65370	0,87160
Belém	Iss Marine Service Ltda	15	0,02757	0,33333	0,34712	0,46283
Vila do Conde	B F Fortship (Pa) Agencia Maritima Ltda	16	0,06176	1,00000	0,03088	0,04117
Natal	Superservice Inspeções E Operações Portuárias Ltda	17	0,13075	0,01818	0,55628	0,74171
Fortaleza	Brandao Filhos Fortship Pe Agencia Maritima Ltda	18	0,21176	0,00632	0,60272	0,80363
Rio de Janeiro	Oceanus Agencia Maritima SA	19	0,34983	0,01818	0,66582	0,88776
Fortaleza	Tracol - Agencia Marítima Transc. Ltda	20	0,88757	1,00000	0,44379	0,59172
Vila do Conde	Amazon Agency Ltda	21	1,00000	0,50000	0,75000	1,00000

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 8: Benchmarks das DMU's na análise par-a-par considerando resíduo e atracação

DMU	DMU_2	DMU_21	DMU	DMU_2	DMU_21
DMU_1	0,999989	0,000011	DMU_11	0,981094	0,018906
DMU_2	1,000000	0,000000	DMU_12	0,050999	0,949001
DMU_3	0,999899	0,000101	DMU_13	0,023933	0,976067
DMU_4	0,596991	0,403009	DMU_14	0,943348	0,056652
DMU_5	0,704554	0,295446	DMU_15	0,034690	0,965310
DMU_6	0,244194	0,755806	DMU_16	0,004609	0,995391
DMU_7	0,997304	0,002697	DMU_17	0,135974	0,864026
DMU_8	0,997392	0,002608	DMU_18	0,261615	0,738385
DMU_9	0,269736	0,730264	DMU_19	0,050413	0,949587
DMU_10	0,351223	0,648777	DMU_20	-	1,000000
			DMU_21	-	1,000000

Fonte: Elaboração Própria

Com isso, a DMU 21 foi referência para 57,14% da amostra (12 DMU's), considerando um valor de pelo menos 0,51 no *benchmark*, conforme Tabela 8.

Na análise geral, o modelo apresentou oito DMU's na fronteira eficiente. Entretanto, nas duas análises par-a-par, o modelo apresentou apenas duas DMU's eficientes em cada uma delas. É possível notar que a DMU 21 foi a única que se encontra na fronteira eficiente nas três análises, apesar desta ser uma falso-positivo na análise considerando as variáveis de resíduos e a carga.

O motivo da mudança na fronteira eficiente nas três análises pode ser explicado a partir dos pesos atribuídos pelo modelo aos dados utilizados nas análises. As DMU's 1, 2 e 3 foram eficientes na análise geral porque o modelo atribuiu maior importância às variáveis de carga e atracação. Dentre estas três DMU's considerando as duas análises par-a-par, o modelo apresentou os piores resultados para a DMU 1, onde na análise geral, esta foi considerada uma falso-positivo.

As DMU's 14, 17 e 18 foram eficientes na análise geral e, nas análises par-a-par, os valores de suas eficiências padrão foram baixos. Os valores das eficiências invertida se alteraram pouco, mas mantendo-se ainda em patamares baixos quando comparado na análise geral. Esta mudança pode ser explicada pelo grau de importância que o modelo atribuiu nos dados das variáveis que se apresentaram nas análises par-a-par. Com isso, é possível destacar que o modelo atribuiu maior peso na variável resíduos nas análises par-a-par quando comparado com a análise geral.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou a eficiência na geração de resíduos nos terminais portuários que movimentaram predominante carga geral, considerando os dados da carga movimentada, atracação e na geração de resíduos. Para que isto fosse possível, o *output* indesejável resíduos foi convertido para um *output* desejável por meio de procedimento matemático devidamente fundamentado na literatura.

Por conseguinte, foi adotado o modelo DEA-BCC orientado a *output*, cujo resultado apresentou baixa discriminação de DMU's eficientes, sendo necessário considerar o método da fronteira invertida para contornar este percalço, permitindo, assim, aumentar a discriminação e ordenar as DMU's. Além disto, foram realizadas três análises, uma considerando as três variáveis e as demais par-a-par, tendo à variável que diz respeito à geração de resíduos nas três análises. Sendo assim, o resultado da análise geral apresentou oito terminais portuários situados na fronteira

eficiente. Deste total, apenas o terminal Libras Terminais SA (DMU 1) apresentou características de falso-eficiente.

O resultado das análises par-a-par apresentou uma mudança significativa na composição da fronteira eficiente quando comparado com a análise geral. Em ambas as análises par-a-par, a fronteira eficiente é formada por apenas dois terminais. Na análise par-a-par que considera a carga movimentada, o indicador Composta Normalizada apresentou valor máximo para o terminal Tracol - Agencia Marítima Transc. Ltda (DMU 20), apesar de não se situar na fronteira eficiente. Para estes casos, os indicadores de Composta e Composta Normalizados foram desconsiderados das análises, restringindo à análise aos indicadores de eficiências padrão e invertida.

As análises dos pesos foram importantes para determinar o grau de importância dado pelo modelo a uma das variáveis. Como não houve restrição aos pesos, o modelo DEA atribuiu peso zero nas variáveis, o que não representa à realidade nas operações portuárias.

Por fim, a análise dos *benchmarks* apresentou a possibilidade que as DMU's ineficientes têm de assumir as características operacionais de mais de uma referência. Esta análise é melhor compreendida quando há o auxílio de programas computacionais que permitem o desenvolvimento de gráficos tridimensionais, onde é possível observar, no gráfico, a distância entre os *benchmarks* e as DMU's ineficiente. Para estudos futuros, sugere-se uma atualização do inventário de resíduos gerados nos terminais portuários, com o intuito de disponibilizar ao meio acadêmico de informações cada vez mais atualizadas nesta temática. Além disto, sugere-se utilizar variáveis que impactam diretamente no cotidiano operacional do gerenciamento de resíduos nos terminais portuários. Para isto, é importante utilizar técnicas que possibilitem identificar quais as variáveis que, de fato, influenciam na análise do problema em questão.

Por fim, recomenda-se utilizar algum método que determine a importância mínima de cada variável no problema. Desta forma, será possível determinar, de forma adequada, a importância de cada variável do problema, evitando que variáveis significativas sejam anuladas pelo modelo DEA. Uma das técnicas largamente empregada por pesquisadores é o emprego do julgamento de especialistas, essencial nos problemas que envolve o emprego do DEA.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro para elaboração deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ACOSTA, C. M. M.; DA SILVA, A. M. V. DE A.; LIMA, M. L. P. DE. Aplicação de Análise Envolvória de Dados (DEA) para medir a eficiência em portos brasileiros. **Revista de Literatura de Transportes**, v. 5, n. 4, p. 88–102, 2011.

ANTAQ. **Manual detalhado de de instalações portuárias para recepção de resíduos - IMO** -. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/Manual-detalhado-de-instalacoes-portuarias-para-a-recepcao-de-residuos.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

ANTAQ. **Sistema de Informações Gerenciais**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/sistemas/sig/AcessoEntrada.asp?IDPerfil=23>>. Acesso em: 13 maio. 2015.

ANVISA. **RDC 56 - Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas Sanitárias no Gerenciamento de Resíduos Sólidos nas áreas de Portos, Aeroportos, Passagens de Fronteiras e Recintos Alfandegados**, 2008.

BERTOLOTO, R. F.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Eficiência de portos e terminais privados brasileiros com características distintas. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 2, p. 421, 2011.

- BRASIL. Lei n 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. . 2010, p. 1–22.
- CHANG, Y. T. Environmental efficiency of ports: A Data Envelopment Analysis approach. **Maritime Policy and Management**, v. 40, n. 5, p. 467–478, 2013.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. v. 2, p. 429–444, 1978.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Introduction to Data Envelopment Analysis and its use with DEA-solver Software and references**. New York: Springer Science + Business Media, Inc., 2006.
- CORTEZ, L. C. S.; BOTTINO, D. B.; PASCHOALINO, F. F.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Estudo da eficiência dos times de futebol que mais investiram em jogadores para temporada 2008-2009. **Relatório de Pesquisa em Engenharia de Produção - RPEP**, v. 10, n. 2, p. 1–15, 2010.
- FREITAS, M. A. V. DE. **Manual de boas práticas portuárias do porto do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2014.
- GIACOMELLO, CINTIA P.; OLIVEIRA, R. L. DE. Análise Envoltória de Dados (DEA): uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade. **Revista GUAL**, v. 7, n. 2, p. 130–151, 2014.
- GUEDES, L. E. M.; PENNA, R. C. M.; GUERREIRO, A. DOS S. Análise de Eficiência dos Terminais Portuários do Mercosul. **XXII ANPET**, p. 319–330, 2008.
- IBAMA. **Instrução normativa Nº 13 - Lista Brasileira de Resíduos Sólidos**, 2012.
- 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.
- LETA, F. R.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. **Investigação Operacional**, v. 25, n. 2, p. 229–242, 2005.
- LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. **Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente do Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.
- MARTINEZ-BUDRÍA, E.; DIAZ-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**, v. 26, n. 2, p. 237–253, 1999.
- MOHEE, R.; SURROOP, D.; MUDHOO, A.; RUGHOOPUTH, B. K. Inventory of waste streams in an industrial port and planning for a port waste management system as per ISO14001. **Ocean and Coastal Management**, v. 61, p. 10–19, 2012.
- MONIÉ, F.; VIDAL, S. M. D. S. C. Cidades, portos e cidades portuárias na era da integração produtiva. **RAP Rio de Janeiro**, v. 40, n. 6, p. 975–995, 2006.
- PARK, R.-K.; DE, P. An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports. **Maritime Economics & Logistics**, v. 6, p. 53–69, 2004.
- PEREIRA, S. L.; FONTANA, C. M. M.; FONTANA, C. F.; SAKURAI, C. A. Management of Port Solid Waste Framework. **International Journal of Energy and Environment**, v. 8, 2014.
- RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G.; BECKER, J. L. Análise da Eficiência das Operações nos Terminais de Contêineres do Mercosul. **XXVIII EnANPAD**, p. 1–14, 2004.
- RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D. DE; THOMAZ, A. C. F. Análise da eficiência na produção de energia eólica nos principais estados brasileiros produtores , por meio da aplicação de análise por envoltória de dados. **Revista Tecnologia**, v. 36, n. 1 e 2, p. 18–33, 2015.
- ROLL, Y.; HAYUTH, Y. Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). **Maritime Policy and Management: The Flagship Journal of International Shipping and Port Research**, v. 20, n. 2, p. 153–161, 1993.
- ROSANO-PENA, C.; DAHER, C. E.; MEDEIROS, O. R. DE. Ecoeficiência e Impacto da Regulação Ambiental na Agropecuária Brasileira com Funções Distância Direcionais. **XXXVII Encontro da ANPAD**, p. 1–16, 2013.
- RUBEM, A. P. DOS S.; BRANDÃO, L.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Avaliação de unidades portuárias brasileiras com Análise Envoltória de Dados e Método de Copeland. **ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes**, p.

12, 2014.

SANTOS, A. B.; SPROESSER, R. L. Caracterização e avaliação da eficiência dos terminais intermodais brasileiros. **Gestão & Regionalidade**, v. 29, n. 87, p. 47–63, 2013.

SEP E UFRJ. **Relatório Diagnóstico: Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros - Porto de Itaguaí**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2014.

SOUSA JÚNIOR, J. N. C. DE. **Avaliação da eficiência dos portos utilizando Análise Envoltória de Dados: Estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2010.

TISCOSKI, J. DA S. **Análise da eficiência operacional portuária, por meio da Análise Envoltória de Dados: um estudo de caso dos complexos portuários públicos movimentadores de granéis sólidos agrícolas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

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.

TSCHAFFON, P. B.; MEZA, L. A. Um Estudo de outputs indesejáveis em DEA com aplicação no setor de distribuição de energia elétrica. **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 533–544, 2011.

VALENTINE, V. F.; GRAY, R. The measurement of port efficiency using Data Envelopment Analysis. **Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research**, 2001.