

Análise da eficiência relativa de terminais de contêineres brasileiros e implicações para expansão da capacidade do setor

Analysis of the relative efficiency of Brazilian container terminals and implications for expanding the sector's capacity

Paulo Augusto Pettenuzzo de Britto*

UnB, Brasil
pbritto@unb.br

Alexandre Xavier Ywata de Carvalho**

IPEA, Brasil
aywata@gmail.com

Paulo César Coutinho*

UnB, Brasil
pccoutinho@gmail.com

André Luis Rossi de Oliveira***

Utah Valley University, EUA
arossio@gmail.com

Resumo. O setor portuário é de fundamental importância para a economia, sobretudo em períodos de crescimento de fluxos de comércio exterior. A expansão da capacidade do setor portuário requer vultosos investimentos, seja na seleção de áreas adequadas, seja na construção da infraestrutura e oferta de equipamentos. Este trabalho aborda a questão da capacidade à luz do uso eficiente dos recursos. Com efeito, a partir da identificação o nível e ineficiência dos terminais brasileiros de contêineres, o estudo quantifica o acréscimo de capacidade útil possível pela simples utilização eficiente da estrutura atual. Nesse contexto, este estudo emprega a análise envoltória de dados para calcular o nível de eficiência de terminais portuários brasileiros de contêineres. O estudo inova ao empregar variáveis contábil-financeiras para estimar a fronteira de custo eficiência do setor, evidenciando maior nível de produto possível para dado custo. Como resultado, identificou-se eficiência média de 56%, para terminais privados, e 82%, para terminais públicos. Por fim, estimou-se que o setor portuário nacional pode aumentar sua capacidade em 2-4,5 milhões de TEUs/ano apenas com ganhos de eficiência operacional.

Palavras-chave: Terminais de Contêineres. Retornos de Escala no Setor Portuário. Eficiência Relativa no Setor Portuário.

Abstract. The port sector is of fundamental importance to the economy, especially in periods of growth of foreign trade flows. The capacity expansion of the port sector is expensive, either in the selection of suitable areas, or in the construction of infrastructure and equipment supply. This paper addresses the issue of capacity in light of the efficient use of resources. In fact, from the identification of the level and inefficiency of the Brazilian container terminals, the study quantifies the increase in useful capacity due to the simple efficient use of the current structure. In this context, it uses the of data envelopment analysis to calculate the level of efficiency of Brazilian container terminals. The study innovates by using accounting-financial variables to estimate the cost-efficiency frontier of the sector, showing a higher level of possible product for a given cost. As a result, the average efficiency of 56% for private terminals, and 82% for public terminals were identified. Finally, it was estimated that the national port sector can increase its capacity by 2-4.5 million TEUs / year with only operational efficiency gains.

Key words: Container Terminal. Returns to Scale in the Port Sector. Relative Efficiency in the Port Sector.

* Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília – DF, Brasil.

** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. SBS, Quadra 1, Bloco J, Ed. BNDES, 70076-900, Brasília – DF, Brasil.

*** Utah Valley University. 800 W University Pkwy, Orem, UT 84058, EUA.

Introdução

As reformas ocorridas no marco regulatório do setor portuário brasileiro nas duas últimas décadas, introduzidas através das Leis 8.630/1993 e 12.815/2013, foram motivadas principalmente pela busca por aumentos de capacidade e ganhos de produtividade. O aumento da capacidade física no setor, no entanto, é custoso e envolve a disponibilidade de áreas apropriadas, sobretudo nas imediações de centros urbanos, o investimento em infraestrutura e a aquisição de equipamentos. Os ganhos de eficiência, por seu turno, estão relacionados às melhoras de gestão e à adoção de inovações tecnológicas (CULLINANE *et al.*, 2006). Destaque-se, ainda, que os ganhos de eficiência, ao permitirem uma maior produção a partir de dada estrutura, ou custo, pode ser uma alternativa para a expansão da capacidade.

A discussão sobre eficiência portuária é recorrente em estudos econômicos no Brasil e no mundo, tendo como um dos focos principais seu impacto para a competitividade da economia e o papel de investimentos públicos para a expansão da capacidade e a adoção de inovações tecnológicas para redução de custos. A relação entre ganhos de eficiência e capacidade, contudo, é pouco discutida. Este artigo contribui, então, para o referencial nacional sobre o desempenho de terminais de contêineres ao tratar ganhos de eficiência como alternativa aos investimentos em novos portos ou em expansão da área de portos existentes.

Com base em dados especificamente coletados para esse estudo junto aos terminais de contêineres brasileiros, com a intermediação da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), são realizadas duas análises sobre a eficiência dos terminais de contêineres: a verificação de existência ou não de economias de escala na atividade portuária nacional e a identificação da eficiência relativa dos terminais portuários nacionais. A partir dos resultados dessas análises, estima-se o

ganho de capacidade possível a partir de aumentos na eficiência.

A análise é feita com a metodologia de análise envoltória de dados (DEA), que permite evidenciar-se o nível de eficiência relativa de cada indivíduo da amostra. O artigo inova, ainda, ao aplicar o conceito de custo-eficiência, empregando a análise envoltória de dados a fim de estimar os ganhos de produtividade potenciais e usar os estes resultados para calcular o ganho de capacidade possível sem a necessidade de investimentos em estrutura (área e equipamentos) portuária. Por fim, é apurada a eficiência média por terminal segundo sua natureza jurídica, público ou de uso privativo.

Este artigo contém quatro seções, além dessa introdução. A seção 2 faz uma resenha da literatura existente sobre retornos de escala e DEA no setor portuário. A seção 3 faz uma análise das diversas técnicas de DEA disponíveis para a análise de eficiência relativa, enquanto a seção 4 apresenta os resultados tanto de retornos de escala como de eficiência relativa, ambos obtidos a partir dos dados de terminais de movimentação de contêineres nos portos brasileiros. Finalmente, na seção 5 apresenta as conclusões.

Resenha da literatura: retornos de escala e em eficiência relativa no setor portuário

O estudo da natureza dos retornos de escala inicia com a representação da função de produção $q = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ de um produto y produzido a partir dos n insumos (x_1, x_2, \dots, x_n) . Os diferentes tipos de retorno de escala são definidos a partir da função de produção supondo-se que todas as quantidades de insumos sejam multiplicadas por uma constante positiva λ de forma que $f(\lambda x_1, \lambda x_2, \dots, \lambda x_n) = \lambda t f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \lambda t q$, em que $t > 0$. Com efeito, essa expressão estabelece que a função de produção possui retornos constantes de escala se $t = 1$, decrescentes se $t < 1$, e crescentes se $t > 1$ (MAS-

COLLEL *et al.*, 1995). Isso significa que um terminal portuário exibe retornos crescentes de escala se, após as quantidades de todos os insumos serem multiplicadas pelo mesmo fator, o produto aumentar mais do que proporcionalmente. Interpretação semelhante vale para retornos constantes e decrescentes de escala.

Uma metodologia comum em estudos industriais para a identificação do tipo de economia de escala consiste na estimação de funções de produção ou de funções de custo. Os resultados das estimações dessas funções têm ampla aplicabilidade, servindo, por exemplo, para subsidiar decisões regulatórias.

Apesar da importância do tema, não há na literatura empírica consenso sobre a natureza dos retornos de escala existente na operação portuária em terminais de contêineres (TOVAR *et al.*, 2007; LIU, 2010).

Em virtude disso, verifica-se na literatura o uso preferencial da técnica não paramétrica análise envoltória de dados para o estudo da eficiência de portos e terminais portuários, assumindo ou testando a natureza dos ganhos de escala para diferentes medidas de insumos e produtos.

Ainda com respeito à técnica, Falcão e Correia (2012) discutiram a adequação das metodologias de análise envoltória de dados e de fronteira estocástica para a análise comparativa de portos. Os autores concluíram que estas duas ferramentas são as mais adequadas para o estudo da função de produção de portos. Contudo, observaram que a fronteira estocástica possui a limitação de permitir a análise de um único produto por vez.

Assim, considerando as aplicações do método DEA, pode-se citar vários trabalhos realizados. Roll e Hayuth (1993) consideraram uma tecnologia definida como de retornos constantes de escala tomando como *outputs* o tempo de serviço, a carga movimentada, a satisfação do usuário e o número de atracações; e *inputs* o total do capital investido, o número de funcionários e o tipo de carga.

Martinez-Budria *et al.* (1999) analisaram o desempenho de portos espanhóis assumindo retornos variáveis de escala, utilizando como *inputs* as despesas com pessoal, as taxas de depreciação e outros gastos, e como *outputs* a carga movimentada e a receita de aluguel de instalações.

Valentine e Gray (2001) compararam o desempenho de terminais de contêineres privados e públicos assumindo retornos constantes de escala; os *inputs* foram o tamanho do berço e o total de investimentos e os *outputs*, o número total de contêineres e o total de toneladas movimentadas.

Tongzon (2001) mediu o desempenho de contêineres de treze países utilizando retornos constantes e variáveis de escala. O autor empregou como *outputs* a movimentação e o tempo de operação do navio, e como *inputs* guindastes, berços, rebocadores, funcionários, área do terminal e *delay time*.

Itoh (2002) analisou a eficiência operacional de terminais contêineres do Japão também assumindo retornos constantes e, depois, retornos variáveis. Como *output*, utilizou a movimentação de carga e como *inputs*, a área do terminal, o número de berços, o número de guindastes e o número de trabalhadores.

Para analisar a eficiência na operação de contêineres em portos espanhóis, Serrano e Castellano (2003) utilizaram uma especificação com retornos constantes de escala com três *inputs* (tamanho do berço, área do terminal e número de guindastes) e dois *outputs* (TEU movimentado e tonelagem movimentada).

Turner *et al.* (2004) mediram a eficiência de terminais de contêineres na América do Norte, assumindo retornos constantes de escala. Os *inputs* escolhidos foram a: área do terminal, número de guindastes e tamanho do berço, e o *output*, o número de TEUs movimentados.

Cullinane *et al.* (2004; 2005; 2006) assumiram retornos constantes e variáveis para medir a eficiência de terminais de contêineres em diferentes países. Os *inputs* usados foram: área do terminal, tamanho do berço, número de guindastes e de

empilhadeiras. O único *output* foi o volume de carga movimentada.

Rios e Maçada (2006) analisaram terminais no Mercosul assumindo retornos variáveis de escala em uma tecnologia cujos insumos são guindastes, berços, empregados e área do pátio; como produtos usaram volume de carga e número de contêineres movimentados.

Herrera e Pang (2008) assumiram retornos constantes de escala para medir utilizando DEA a eficiência de uma amostra mundial de portos que movimentam contêineres.

Mais recentemente, Navarro-Chaves e Zamora-Torres (2014) empregaram dados físicos e contábeis de portos de diferentes países para estimar eficiência técnica e de custo. Com respeito aos dados contábeis, empregaram os valores de investimento e de despesas com manutenção.

Milani *et al.* (2015) empregaram DEA sob retornos variáveis de escala sob o argumento de que teoricamente esses são mais frequentes em função de produção com elevado investimento.

Guimarães (2016) estimou a eficiência de portos portugueses usando DEA, após testar a presença de retornos constantes de escala, empregando variáveis de decisão físicas, tais como tamanho de cais e número de navios servidos por porto.

Considerando análises de eficiência de portos e terminais brasileiros por meio de DEA, Bertoloto e Melo (2011) assumiram retornos variáveis para comparar os níveis de eficiência de portos públicos e terminais privados no Brasil. Como *inputs*, empregaram a área para armazenagem e o número de equipamentos utilizados na movimentação de cargas; como *output*, o volume de cargas movimentadas.

Acosta e Silva (2011) assumiram retornos variáveis em sua análise que tomou como produto a movimentação de carga total e, como insumos, a extensão e cais, a profundidade do canal e a área de armazenagem.

Vieira *et al.* (2014) analisaram a eficiência sob retornos constantes de escala, sem testar essa suposição. As variáveis de insumo

empregadas foram variáveis físicas relativas a calado, berços, área e equipamentos.

Azambuja *et al.* (2015) também empregaram dados físicos para apurar a eficiência relativa de terminais brasileiros de contêineres, isso sob retornos variáveis de escala com o objetivo de identificar tendências anuais de crescimento da produtividade no período analisado.

Mais recentemente, Fernandes *et al.* (2017) fizeram duas análises, uma sob retornos constantes e outra sob retornos variáveis de escala, combinando variáveis físicas a variáveis externas ao terminal, tais como ligações intermodais e acessos.

A análise da literatura indica não só a importância que o tema desperta, mas também algumas conclusões importantes e as controvérsias que se apresentam. Dentre as conclusões importantes destaca-se a adequação do uso da técnica DEA para a análise de eficiência de terminais e portos, seja porque não requer suposição sobre a forma funcional da função de produção, seja por permitir a estimação da eficiência para uma função multiproduto. Com respeito às controvérsias, destaca-se a questão do tipo de retornos de escala na produção, se constante ou variável, o que na maioria dos estudos é suposto pelos analistas, mas que pode ser testado para um conjunto específico de dados.

Por fim, importa observar que na maioria dos estudos relacionados a portos são empregadas variáveis físicas, seja para produto, seja para insumo. Na prática, estas variáveis podem ser substituídas por variáveis econômico-financeiras, levando à estimação de eficiência de lucro ou de custo. O emprego de DEA a dados financeiros, contudo, não é inédito, havendo literatura que estuda eficiência em setores bancário, seguro, elétrico, de alimentos, bem como eficiência de gastos do setor público, entre outros (CERETTA, 1999; SOUZA; RAMOS, 1999; CERETTA; NIEDERAUER, 2001; SOARES DE MELLO *et al.*, 2003; MARINHO, 2003; SANTOS; NOVA, 2005; MACEDO *et al.*, 2006).

Neste estudo, emprega-se a técnica DEA, após uma análise empírica do tipo de

retornos de escala, para dados econômico-financeiros a fim de estimar uma fronteira de custo-eficiência.

Procedimentos metodológicos: análise envoltória de dados

Este estudo emprega o modelo de benchmarking conhecido por DEA, que permite a construção de fronteiras de produção de entidades que transformam múltiplos insumos em múltiplos produtos com base em “melhores práticas” (JAMASB; POLLITT, 2000).

A escolha pelo uso da DEA, uma técnica determinística e não-paramétrica, neste estudo consiste em opção metodológica fundamentada no desenho do experimento, inclui unidades com funções de produção similares, e na tipicidade dos dados disponíveis, dados que agregam dos. Por ser determinística, assume-se que as observações individuais não podem ser afetadas por um ruído aleatório, ou seja, toda diferença de desempenho das entidades consiste em fonte de informação significativa para a eficiência. Por ser não-paramétrica, não se exige assumir uma forma funcional para a função produção, seja para o relacionamento entre insumos e produtos, seja para a distribuição de escores de eficiência (HOFF, 2007).

A metodologia de DEA, desenvolvida a partir dos trabalhos de Farrell (1957) e Charnes *et al.* (1978) com o objetivo de construir uma medida de eficiência a partir de dados históricos observáveis. A concepção do DEA pode ser resumida, conforme Rios e Maçada (2006), como uma forma de comparação de pares de quantidades de recursos utilizados e resultados observados para cada unidade de tomada de decisão (*Decision Making Unit - DMU*); as unidades de decisão consistem dos agentes por tempo, tais com portos/ano, banco/mês, trabalhador/hora.

Uma vez construídas as relações entre insumos e produtos na forma de uma medida de desempenho procede-se, conforme Soares de Mello *et al.* (2003), à comparação das DMUs de forma a

identificar a de melhor desempenho, dita eficiente, e o tamanho relativo da ineficiência das demais DMUs. Segundo Borenstein *et al.* (2004), ao identificar insumos utilizados de forma ineficiente, o DEA constitui uma ferramenta útil para o planejamento.

Os modelos DEA podem ser orientados por *input*, por *output*, ou pela razão *output/input*. A orientação por *input* minimiza o *input* suficiente para alcançar um nível de *output* desejado. Já a orientação por *output* visa a maximizar o *output* para um nível de *input* fixo.

A orientação pela razão, segundo Coelli *et al.* (1998, p.162) a mais intuitiva, pode ser representada pela seguinte forma algébrica:

$$\begin{aligned} \max_{(u_m, v_n)} E_i &= \frac{\sum_{m=1}^M u_m q_{mi}}{\sum_{n=1}^N v_n x_{ni}} \\ \text{s. a. } \frac{\sum_{m=1}^M u_m q_{mj}}{\sum_{n=1}^N v_n x_{nj}} &\leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, i, \dots, I \\ u_m &\geq 0, \quad \forall m \\ v_n &\geq 0, \quad \forall n \end{aligned}$$

Em que E_i consiste eficiência de i , q_{mi} é a quantidade do produto $m = 1, \dots, M$; x_{ni} é a quantidade de insumos $n=1, \dots, N$; u_m e v_n designam os pesos de, respectivamente, cada produto e cada insumo na DMU i . O problema acima é não linear. Contudo, com alguma manipulação pode ser linearizado e otimizado pelo método simplex.

A estimação de E_i permite identificar o produto máximo para dada combinação tecnologicamente factível de insumos. A partir de uma análise do problema linearizado se percebe que a eficiência implicará, necessariamente, que a razão entre produtos e insumos seja igual à unidade. Ademais, razões menores ditas ineficientes podem ser interpretadas como um *score* e sua distância para a unidade como uma medida de ineficiência relativa.

Os modelos DEA mais difundidos na literatura são os modelos Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) e Banker-Charnes-Cooper (BCC). O modelo CCR supõe retornos constante de escala, ou seja, variações constantes na eficiência por unidade de variação no tamanho da DMU. O modelo BCC, por seu turno, admite que a superfície de fronteira de produção apresente retornos

variáveis de escala. O enfoque consiste em observar como mudanças proporcionais no vetor de *inputs* refletem-se em termos de mudança no vetor de *outputs*. Verificam-se retornos crescentes de escala quando acréscimos no uso de insumos geram aumentos mais do que proporcionais na produção. Inversamente, verificam-se retornos decrescentes de escala quando acréscimos no uso de insumos geram aumentos proporcionalmente menores na produção. A hipótese de retornos variáveis de escala permite, portanto, formatos mais abrangentes para a fronteira de produção (BANKER *et al.*, 1984).

Após a análise das economias de escala e o cálculo da eficiência de cada terminal, calculou-se o ganho de capacidade de cada terminal considerando-se o total de carga que poderia ser movimentada caso operasse de forma eficiente. Tal montante foi determinado proporcionalmente à diferença entre o volume de carga movimentada por um terminal, com seu nível de eficiência, e o volume de carga que seria movimentado caso aquele mesmo terminal exibisse o nível máximo de eficiência registrado por terminal. Ao se somar os ganhos de capacidade de cada terminal tem-se o ganho total de capacidade do sistema portuário nacional sem novos investimentos.

Apresentação e discussão dos resultados

Nesta seção apresentam-se as análises feitas com base em informações dos terminais de contêineres no Brasil para identificação da natureza dos retornos de escala e, a seguir, análise da eficiência relativa dos terminais brasileiros de contêineres. Conforme discutido anteriormente, caso sejam identificados retornos de escala, implicações importantes sob o ponto de vista regulatório podem ser derivadas. Com respeito à análise de eficiência relativa, permite estimar potencial de crescimento de capacidade do setor.

Antes da análise propriamente dita, importa observar que esse trabalho emprega

informações físicas, para produto, e de informações econômico-financeiras, para insumos. Isto consiste em uma inovação desse trabalho na medida em que estudos de eficiência no setor portuário invariavelmente empregam, conforme resenha da literatura, informações físicas também sobre insumos. Neste estudo, em que se emprega informações econômico-financeiras, o objetivo consiste em se estabelecer o menor custo de provisão de uma determinada quantidade de bens ou serviços, estimando-se a fronteira DEA estimada é interpretada como uma fronteira de custo-eficiência.

Descrição dos dados

O estudo compreendeu, inicialmente, 21 terminais portuários especializados na movimentação de contêineres instalados no Brasil, sendo seis terminais de uso privativo (TUP) e quinze terminais públicos (PP). A coleta dos dados foi intermediada pela ANTAQ, que solicitou aos terminais que enviassem informações com base numa lista de dados físicos, econômicos e financeiros preparada pelos autores.

Considerando que alguns terminais não enviaram as informações com o detalhamento solicitado, a amostra final contou com os seguintes 16 terminais: Chibatão, Superterminais, Pecém, Tecondi – Santos, Tecon – Sepetiba, Portonave, Teconvi, Libra – Santos, Paranaguá, Tecon – Imbituba, Tecon – Salvador, Tecon – Santos, Tecon – Suape, Vila do Conde, TESC e Vila Velha. Do ponto de vista econômico, estes 16 terminais representaram pouco mais de 80% do total de carga containerizada movimentada pelos portos brasileiros.

A variável para produto (*output*) do terminal portuário de contêiner empregada na análise foi a movimentação de contêineres equivalentes a 20 toneladas por ano (TEUs/ano). Como insumos (*inputs*), conforme menção acima, foram utilizadas as seguintes informações econômico-financeiras: valor de investimentos em máquinas e equipamentos, despesas

administrativas e custos de serviços prestados. As variáveis de insumos selecionadas envolvem os elementos capital (contemplado em máquinas e equipamentos) e trabalho (contemplado tanto no custo dos serviços como nas despesas administrativas), ambos necessários à estimação de equações de produção.

Com respeito à variável de produto, cabe destacar que consiste da movimentação total de contêineres de forma absoluta, sem levar em consideração eventuais diferenças de valor agregado da carga movimentada. Logo, contêineres refrigerados, por exemplo, apesar de possuírem valor agregado maior, são considerados equivalentes aos contêineres não refrigerados no modelo, devido à ausência de informações na nossa amostra sobre o tipo de carga movimentada nos contêineres.

Análise dos retornos de escala

O teste aplicado parte de uma especificação Cobb-Douglas cuja linearização permite a estimação do modelo através do método dos mínimos quadrados ordinários, método este intuitivo e bastante difundido na literatura. O teste é especificado a partir da soma dos coeficientes dos insumos no modelo de regressão, estabelecendo como hipótese nula soma dos coeficientes dos insumos da regressão ser igual a um. Dado que os insumos estão em logaritmo, essa hipótese implica em que, caso se dobrasse a quantidade de insumos, o produto aumentaria na mesma proporção. Caso essa soma fosse maior do que um, dobrando-se a quantidade de insumos o produto aumentaria em mais de duas vezes, confirmando uma situação de retornos crescentes de escala. Por outro lado, caso a soma dos coeficientes fosse menor do que um, dobrando-se a quantidade de insumos o produto aumentaria em um fator menor do que dois, confirmando retornos decrescentes de escala.

Para testar a hipótese nula, foram realizados testes de Wald, de razão de

verossimilhança e de multiplicadores de Lagrange. O modelo restrito é o modelo em que a hipótese nula é imposta. No modelo irrestrito, os coeficientes podem assumir quaisquer valores. Os testes foram realizados com e sem correção para a matriz de variância-covariância dos estimadores, de forma a contabilizar para a presença de heterocedasticidade nos resíduos.

Com respeito às variáveis empregadas no teste, as correlações observadas entre seus logaritmos foram de 76,5% para investimento em máquinas e equipamentos *versus* custo dos produtos prestados; 60,1% para investimentos em máquinas e equipamentos *versus* despesas administrativas; e 90,8% para despesas administrativas *versus* custo dos serviços prestados.

Todas as correlações foram estatisticamente significantes a um nível de 1%. Como uma alta correlação apresentada entre as variáveis de insumo pode causar um problema de multicolinearidade em uma regressão que utilize todas as variáveis, foram utilizadas diferentes especificações, com diferentes combinações de insumos de cada vez no teste para a natureza do retorno de escala. Além disso, foi testada uma variável adicional, o somatório de despesas administrativas com custo dos serviços prestados.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos testes. O "X" nas colunas 1 a 4 indica que a variável foi inserida na respectiva estimação. A quarta coluna corresponde à variável resultante da soma de despesas administrativas com custo dos serviços. A soma dos coeficientes estimados é apresentada na quinta coluna. A última, por fim, apresenta o *p-valor* do teste de hipótese especificado.

Em todas as versões dos testes, a hipótese nula não é rejeitada. Portanto, não é possível concluir dos dados que há retornos crescentes ou decrescentes de escala. Esse resultado está de acordo com grande parte dos resultados encontrados na literatura, conforme discutido na seção 2.

Tabela 1. Resultados dos testes para verificação de retornos constantes de escala.

Table 1. Results of the test for constant returns of scale.

Investimentos em máquinas, equipamentos	Variáveis Explicativas			Soma dos coeficientes	p-valor do teste
	Custo dos serviços (A)	Despesas administrativas (B)	(A) + (B)		
			X	1,0022	0,9868
X			X	1,0059	0,9625
X	X	X		1,0242	0,8475
	X	X		1,0348	0,7840
X		X		1,0124	0,9235
X	X			0,9467	0,7002
X				0,4207	0,0077*
	X			0,9406	0,6903
		X		1,0197	0,8729

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: (*) Significativo à 1%.

Os coeficientes estimados foram altamente significativos estatisticamente, apesar de estarmos usando apenas 16 observações no modelo. Isso possivelmente se deve ao fato de haver grande variabilidade entre os valores para os insumos na amostra (há terminais muito grandes e terminais de tamanhos menores nos dados utilizados na regressão). Lembrando que na literatura de regressão linear, é importante termos um número grande de observações na amostra, mas também é importante haver variabilidade nas variáveis explicativas, de forma a reduzir os erros padrões nas estimativas. Em todo caso, novos testes para a natureza dos retornos eventualmente serão feitos no futuro, contribuindo para essa literatura, utilizando-se amostras com mais terminais e dados de painel.

Estudo da eficiência relativa

Dada a baixa potência dos testes realizados para retornos de escala na movimentação de contêineres no Brasil optou-se por estudar a eficiência relativa sob as duas óticas: seja assumindo retornos

constantes, seja assumindo retornos crescentes. Para tanto, no estudo da eficiência relativa foram empregadas duas versões de DEA, ambas discutidas anteriormente, uma considerando BCC e outra considerando CCR. Destaque-se que a opção por ambas as especificações, em que pese os resultados acima, foi motivada pela falta de consenso a respeito na literatura. Quando muito, serve para comparação e breve discussão de robustez dos resultados.

De posse dos resultados da análise de eficiência relativa foram calculados os níveis de eficiência média para cada tipo de terminal por natureza jurídica do terminal (público *vs.* privado). Na avaliação dos resultados, foram considerados eficientes os terminais com maior produto para uma dada combinação de insumos. Foi escolhido, discricionariamente, designar como ineficientes os terminais com eficiência relativa igual ou inferior a 50%.

Os índices de eficiência no modelo BCC e no modelo CCR, bem como o diferencial de produção a menor que cada terminal ineficiente realiza em relação ao nível eficiente para seu uso de insumos, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Avaliação da eficiência relativa dos terminais brasileiros de contêineres.**Table 2.** Evaluation of the relative efficiency of the brazilian container terminals.

Terminal	Tipo Terminal*	TEU/Ano	Eficiência Relativa (BCC)	Eficiência Relativa (CCR)	Ineficiência em TEUs (BCC)	Ineficiência em TEUs (CCR)
Tecon – Santos	PP	1.367.133	100,00%	75,90%	-	434.096
Libra – Santos	PP	766.187	100,00%	36,10%	-	1.356.215
Paranaguá	PP	546.564	100,00%	100,00%	-	-
Teconvi	PP	379.818	100,00%	78,70%	-	102.797
Pecém	TUP	163.909	100,00%	100,00%	-	-
Tecon - Suape	PP	324.191	95,70%	88,80%	14.567	40.889
Tecon - Sepetiba	PP	268.522	66,90%	66,90%	132.856	132.856
Tecon - Salvador	PP	233.735	60,40%	53,40%	153.243	203.971
Tecondi - Santos	PP	351.000	49,10%	34,40%	363.868	669.349
Superterminais	TUP	215.879	49,00%	49,00%	224.690	224.690
Portonave	TUP	424.229	46,60%	39,30%	486.134	655.234
TESC	PP	44.624	44,70%	44,70%	55.206	55.206
Chibatão	TUP	162.670	41,00%	41,00%	234.086	234.086
Vila do Conde	PP	30.840	37,80%	37,80%	50.747	50.747
Tecon - Imbituba	PP	25.462	22,30%	22,30%	88.717	88.717
Vila Velha	PP	240.539	52,90%	52,90%	214.166	214.166

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: (*) TUP: terminal de uso privativo; PP: terminal arrendado em porto público.

Considerando os resultados obtidos para o caso de BCC, a eficiência média dos terminais de contêineres brasileiros se situou em 82%. Em relação aos resultados individuais, cinco terminais da amostra estudada podem ser classificados como globalmente: Tecon–Santos, Libra–Santos, Paranaguá, Teconvi e Pecém. Dos dezesseis terminais da amostra, sete podem ser considerados ineficientes, tendo registrado nível de produto inferior a 50% do nível eficiente para o mesmo *mix* de insumos.

A ineficiência pode ser interpretada como sendo a quantidade de contêineres, em TEUs/ano, que poderia ser movimentada a mais, utilizando a mesma quantidade atual de insumos, caso o terminal tivesse a mesma eficiência que um terminal na fronteira de produção estimada. A título de ilustração, considere o Tecon–Salvador, cuja eficiência relativa é de 60,4%. Terminais similares ao Tecon–Salvador operando eficientemente possuiriam uma produtividade 65,6% ($=100/60,4 - 1$) maior. Portanto, caso o terminal de Salvador alcançasse o nível máximo de eficiência expandiria seu *output* em 153.234 TEUs/ano, sem precisar aumentar os insumos empregados. O terminal mais ineficiente da amostra é o Tecon–Imbituba, com eficiência

relativa de 22,3% e produtividade equivalente a 28,7% do nível eficiente.

No caso do modelo com CCR, a eficiência média do setor foi de 56%. Em relação aos resultados individuais, apenas os terminais de Paranaguá e Pecém foram globalmente eficientes. Dos 16 terminais da amostra, 8 podem ser considerados ineficientes. Novamente, o Tecon–Imbituba é o mais ineficiente de todos.

Na comparação dos modelos merece destaque os resultados referentes aos terminais Tecon–Santos, Teconvi e, sobretudo, Libra–Santos. A *perda* de eficiência relativa desses terminais pode ser justificada pelo fato de que a modelagem com CCR considera apenas o *mix* percentual de insumos para fins de montagem dos grupos de comparação, sem sofrer qualquer influência do tamanho do terminal como fator de diferenciação. Nesse caso, se um terminal pequeno apresentar um mesmo *mix* percentual de insumos do que um terminal grande, ambos estarão no mesmo grupo de comparação. Já a modelagem BCC considera o tamanho do terminal, em termos de *output* gerado, como outro fator de diferenciação entre grupos para comparação. Portanto, terminais muito grandes não são comparados com terminais menores, mesmo que eles apresentem

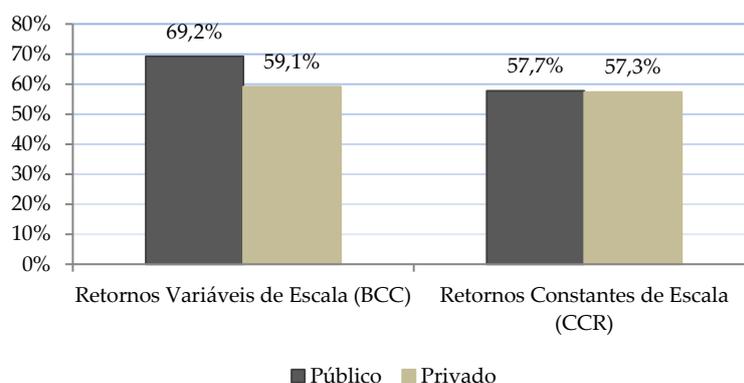
aproximadamente o mesmo *mix* percentual de utilização de insumos. Note que os terminais Tecon-Santos e Libra-Santos são os dois maiores terminais da amostra em termos de volume movimentado; o Teconvi é o quarto maior.

A comparação dos níveis de eficiência por natureza jurídica dos terminais evidencia, conforme resumido na Figura 1,

que os PP são ligeiramente mais eficientes que os TUP. Na modelagem com BCC, os terminais PP registraram eficiência média de 69,2%, enquanto os TUP registraram eficiência média de 59,1%. Já na modelagem com CCR, os terminais PP registraram eficiência média de 57,7%, contra 57,3% dos TUP.

Figura 1. Índice de eficiência média dos terminais de contêineres no Brasil.

Figure 1. Index of relative efficiency of the brazilian container terminals.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os números de potencial produtivo adicional correspondem ao total adicional de contêineres movimentados (em TEUs) por ano, caso todos os terminais na amostra tivessem eficiência relativa de 100%. Conforme discutido anteriormente, a eficiência relativa de acordo com a análise DEA corresponde a uma medida de produtividade de um determinado terminal, em comparação ao terminal (ou terminais) mais produtivo no mesmo grupo de comparação, considerando-se o *mix* de insumos utilizados. Quando se utilizou BCC, além do *mix* de insumos, também o tamanho dos terminais (em termos de total movimentado) afetou a diferenciação entre os grupos.

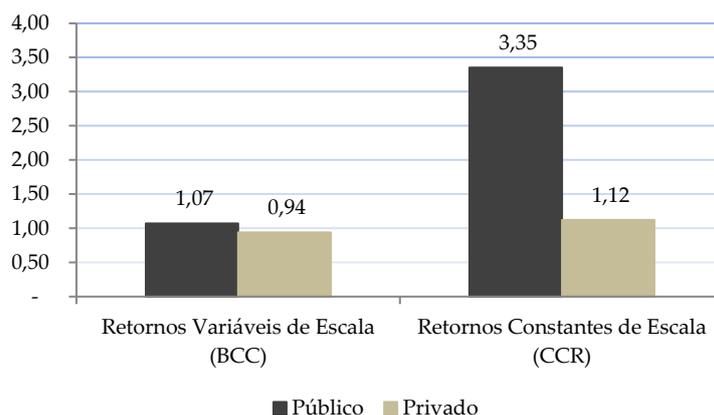
A Figura 2 apresenta o ganho de capacidade medido pelo volume de carga que poderia ser movimentado por todos os terminais, sem necessidade de empregar mais insumos, caso cada um deles operasse no nível de eficiência máximo. Para se

chegar aos valores apresentados, calculou-se a carga movimentada por terminal proporcional à diferença entre a eficiência medida do terminal e a eficiência máxima por tipo de terminal (Paranaguá, no caso dos portos públicos, e por Pecém, no caso dos terminais privados). Este procedimento foi aplicado sob as hipóteses de BCC e de CCR.

No caso de retornos variáveis de escala, e se for mantido o mesmo nível de insumos correntemente utilizados, os portos públicos têm potencial para movimentar 1,07 milhões de TEUs/ano adicionais, enquanto os terminais de uso privativo têm potencial para movimentar 0,94 milhões de TEUs/ano adicionais. Por outro lado, no caso de retornos constantes de escala, os terminais arrendados possuem potencial adicional de 3,35 milhões de TEUs/ano, enquanto os terminais de uso privativo possuem potencial adicional de 1,12 milhões de TEUs/ano.

Figura 2. Potencial de produção adicional dos terminais de contêineres no Brasil.

Figure 2. Potential for additional capacity of the brazilian container terminals.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, é preciso responder à pergunta sobre que resultados utilizar, os do modelo BCC ou os do modelo CCR. Segundo a literatura sobre testes de retornos de escala discutida anteriormente, não existe consenso sobre qual o tipo de retorno de escala predominante nas operações de movimentação de contêineres. Dessa forma, em geral, impor alguma estrutura *a priori* pode não ser adequado do ponto de vista prático.

No caso prático estudado, a maior eficiência dos terminais grandes no modelo BCC, em relação ao modelo CCR, pode ser indicativo da existência de retornos crescentes na operação portuária. Contudo, isso parece contraditório com o resultado dos testes de retornos de escala realizados, em que não foram encontradas evidências da presença desse tipo de retorno. Dessa forma, a questão fica em aberto e deve ser objeto de pesquisas futuras. Por fim, ainda que a magnitude dos resultados seja distinta conforme a suposição acerca dos retornos de escala, observa-se um potencial não negligenciável, e portanto, robusto, de ganho de capacidade.

Considerações finais

O uso eficiente de recursos produtivos é matéria importante no mundo moderno. O mesmo é verdade para o setor portuário, cuja capacidade de movimentar cargas de forma economicamente eficiente tem relação

direta com a competitividade de um país. No Brasil, assim como em diversos outros países, reformas recentes foram implementadas com o objetivo de promover a expansão da capacidade e a eficiência da operação portuária.

O artigo emprega a análise envoltória de dados ao setor portuário de forma a permitir que se avalie o desempenho de um terminal em relação a terminais comparáveis. Ao fazer isso, eventuais desperdícios de recursos podem ser identificados e, conseqüentemente, calculado o potencial de ganho de capacidade a partir da melhoria da eficiência vis-à-vis investimentos novos em estrutura, área e equipamentos portuários.

O estudo tem duas partes. Na primeira, procuram-se evidências da natureza dos retornos de escala no setor portuário. Na segunda, implementa-se a técnica DEA para medir a eficiência relativa de terminais de contêineres no Brasil. Para tanto, foram usados dados coletados especificamente para esse fim junto aos terminais de contêineres em operação no Brasil, com intermediação da ANTAQ.

Além da relação entre eficiência e capacidade, o artigo inova ao empregar variáveis econômico-financeiras como insumos de produção, de forma a permitir a estimação da fronteira de custo-eficiência da atividade portuária. As variáveis de insumo empregadas são: investimentos em máquinas e equipamentos, despesas

administrativas e custos de serviços prestados.

Os testes para economias de escala resultaram não significativos, o que significa que não é possível identificar o tipo de retorno de escala existente na operação dos terminais de contêineres brasileiros. A única exceção foi verificada no modelo mais simples, em que apenas a variável investimento em máquinas e equipamentos foi usada como insumo, que indicou retornos decrescentes de escala. A não identificação da presença de retornos crescentes de escala estatisticamente significantes é coerente com a falta de consenso na literatura internacional sobre o assunto.

A análise DEA, tanto para o caso de retornos constantes como para o caso de retornos crescentes de escala, para avaliar a eficiência relativa de 16 terminais de contêineres brasileiros, apresentou os seguintes resultados: sob a hipótese de retornos variáveis de escala a eficiência média foi de 82%, sendo os terminais Tecon-Santos, Libra-Santos, Paranaguá, Teconvi e Pecém os únicos a atingir produção máxima possível para seus respectivos níveis de insumos; sob a hipótese de retornos constantes de escala, a eficiência média ficou em 56%, sendo eficientes apenas os terminais de Paranaguá e de Pecém.

Adicionalmente, foi investigada a existência de relação entre eficiência e natureza jurídica do terminal. Para tanto, foram consideradas as categorias de terminais públicos e terminais de uso privativo, nos termos da Lei 8.630/1993. Nesse aspecto, foi possível identificar uma vantagem comparativa, ainda que pequena, dos terminais públicos vis-à-vis os terminais privativos.

Por fim, a partir das estimações de ineficiência agregada do setor, se pode afirmar que a capacidade de produção no setor portuário nacional poderia ser elevada entre 2 e 4,5 milhões de TEUs/ano apenas com ganhos possíveis de eficiência operacional, sem investimentos adicionais.

Referências

- ACOSTA, C.; SILVA, A.; LIMA, M. 2011. Aplicação de análise envoltória de dados (DEA) para medir eficiência em portos brasileiros. **Revista de Literatura dos Transportes**, 5(4): 88-102.
- AZAMBUJA, A.; OLIVEIRA, M.; LIMA, M. 2015. Análise de desempenho operacional em terminais de contêineres brasileiros. **Journal of Transport Literature**, 9(4): 25-29. <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n4a5>
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, 30(9):1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- BERTOLOTO, R. F.; MELLO, J. S. 2011. Eficiência de portos e terminais privativos brasileiros com características distintas. **Journal of Transport Literature**, 5(2):4-21.
- BORENSTEIN, D.; BECKER, J. L.; PRADO, V. J. 2004. Measuring the efficiency of Brazilian post office stores using data envelopment analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, 24(10):1055-1078. <https://doi.org/10.1108/01443570410558076>
- CERETTA, P. S. 1999. Investigação empírica da eficiência do setor de alimentos. **Gestão e Produção**, 6(3):162-169. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X1999000300003>
- CERETTA, P. S.; NIEDERAUER, C. P. 2001. Rentabilidade e eficiência do setor bancário brasileiro. **Revista de Administração Contemporânea**, 5(3):7-26. <https://doi.org/10.1590/S1415-6552001000300002>
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. 1978. Measuring efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, 2(6):429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

- COELLI, T.; RAO, D. S.; O'DONNELL, C. J.; BALTESE, G. E. 1998. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. New York, Springer Science+Business Media, 296 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>
- CULLINANE, K.; SONG, D. W.; PING, J.; WANG, T. F. 2004. An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. **Review of Network Economics**, 3(2): 184–206. <https://doi.org/10.2202/1446-9022.1050>
- CULLINANE, K.; SONG, D. W.; PING, J.; WANG, T. F. 2006. **The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis**. Transportation Research - Part A, 40(4):354–374. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.07.003>
- CULLINANE, K.; SONG, D. W.; WANG, T. F. 2005. The application of mathematical programming approaches to estimating container port production efficiency. **Journal of Productivity Analysis**, 24(1): 73–92. <https://doi.org/10.1007/s11123-005-3041-9>
- FALCÃO, V. A.; CORREIA, A. R. 2012. Eficiência portuária: análise das principais metodologias para o caso dos portos brasileiros. **Journal of Transport Literature**, 6(4):133-146. <https://doi.org/10.1590/S2238-10312012000400007>
- FARRELL, M. J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, 120(3):253–281. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- FERNANDES, R. L.; LINS, M. P. E.; FURTADO, M. I. V.; VALIM, H. R. VALIM. 2017. Avaliação da eficiência dos terminais que movimentam contêineres no Brasil: Uma abordagem combinada. **Revista Produção Online**, 17(3):1045-1068. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v17i3.2761>
- GUIMARÃES, G. 2016. **Avaliação da eficiência técnica dos portos portugueses através da análise envoltória de dados**. Lisboa, Portugal. Dissertação de Mestrado. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, 98 p.
- HERRERA, S.; PANG, G. 2008. Efficiency of infrastructure: the case of container ports. **Economia**, 9(1):165-194.
- HOFF, A. 2007. Second stage DEA: comparison of approaches for modeling the DEA score. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, 181(1): 425-35. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.05.019>
- ITOH, H. 2002. Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of DEA. **Review of Urban and Regional Development Studies**, 14(2):133-152. <https://doi.org/10.1111/1467-940X.00052>
- JAMASB, T.; POLLITT, M. 2000. Benchmarking and regulation: international electricity experience. **Utilities Policy**, 9(3): 107-130. [https://doi.org/10.1016/S0957-1787\(01\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0957-1787(01)00010-8)
- LIU, Q. 2010. **Efficiency Analysis of Container Ports and Terminals**. Londres, Inglaterra. University College London, 206 p.
- MACEDO, M. A.; SILVA, F.; SANTOS, R. M. 2006. Análise do Mercado de seguros no Brasil: uma visão do desempenho organizacional das seguradoras no ano de 2003. **Revista de Contabilidade e Finanças**, especial (Atuária):88-100. <https://doi.org/10.1590/S1519-70772006000500007>
- MARINHO, A. 2003. Avaliação da eficiência técnica nos serviços de saúde nos municípios do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Economia**, 57(3):515-534. <https://doi.org/10.1590/S0034-71402003000300002>
- MARTINEZ-BUDRIA, E.; DIAZ-ARMAS, R.; NAVARRO-IBANEZ, M.; RAVELOMESA, T. 1999. A study of the efficiency of spanish port authorities using data envelopment analysis. **International Journal of Transport Economics**, 26(2): 237-253.

- MAS-COLLEL, A.; WHINSTON. M.; GREEN, J. 1995. **Microeconomic theory**. New York, Oxford University Press, 1008 p.
- MILANI, P.; VIEIRA, G. B. V.; VERRUCK, F.; GONÇALVES, R. G.; MULINAS, A. M. 2015. Análise da relação entre modelo de gestão portuária e eficiência em portos de contêineres. **Revista Gestão Industrial**, 11(2):1-25. <https://doi.org/10.3895/gi.v11n2.1956>
- NAVARRO-CHÁVEZ, C. L.; ZAMORA-TORRES, A. I. 2014. Economic efficiency of the international port system: An analysis through data envelopment. **International Business Research**, 7(11):108-116. <https://doi.org/10.5539/ibr.v7n11p108>
- RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. 2006. Analysing the relative efficiency of container terminals of Mercosur using DEA. **Maritime Economics & Logistics**, 8(4):31-346, 2006. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100168>
- ROLL, Y.; HAYUTH, Y. 1993. Port performance comparison applying DEA. **Maritime Policy and Management**, 20(2):153-161. <https://doi.org/10.1080/03088839300000025>
- SANTOS, A.; NOVA, S. P. 2005. Proposta de um modelo estruturado de análise de demonstrações contábeis. **RAE-Eletrônica**, 4(1):Art. 8. <https://doi.org/10.1590/S1676-56482005000100004>
- SERRANO, M. G.; CASTELLANO, L. T. 2003. Análisis de la eficiencia de los servicios de infraestructura en España: Una aplicación al tráfico de contenedores. In: ENCUENTRO DE ECONOMIA PÚBLICA, 10, Tenerife, 2003, **Anais...** Tenerife, UNIRIOJA, p. 19.
- SOARES DE MELLO, J. S.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. 2003. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e do *benchmark* para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, 23(2):325-345. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382003000200005>
- SOUZA, M. S.; RAMOS, F. S. 1999. Eficiência técnica e retornos de escala na produção de serviços públicos municipais: o caso do Nordeste e do Sudeste brasileiros. **Revista Brasileira de Economia**, 53(4):433-461.
- TONGZON, J. 2001. Efficiency measurement of select Australian an international port using data envelopment analysis. **Transportation Research - Part A**, 35(2):113-128. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00049-X](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00049-X)
- TOVAR, B.; JARA-DIAZ, S.; TRUJILLO, L. 2007. Econometric estimation of scale and scope economies within the port sector: A review. **Maritime Policy and Management**, 34(3):203-223. <https://doi.org/10.1080/03088830701342932>
- TURNER, H.; WINDLE, R.; DRESNER, M. 2004. North American container port productivity: 1984-1997. **Transportation Research - Part E**, 40(4):339-356. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2003.06.001>
- VALENTINE, V. F.; GRAY, R. 2001. The measurement of port efficiency using data envelopment analysis. In: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH, 9, Seoul, 2001, **Anais...** Seoul, COEX, p.17.
- VIEIRA, G. B. B.; GONÇALVES, R. B.; MILAN, G. S.; ROSA, A. Q. 2014. Avaliação da eficiência portuária utilizando a análise envoltória de dados: um estudo dos terminais de contêineres dos portos da região sul do Brasil. **Revista Gestão Industrial**, 10(4):793-809. <https://doi.org/10.3895/S1808-04482014000400005>

Submetido: 24/9/2019

Aceito: 1/5/2020

Os Editores agradecem a Henrique Bidarte Massuquetti pelo apoio editorial.