

Carlos Frederico Alves

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE
CONTÊINERES: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA
COM A INCLUSÃO DE UM INSUMO INTANGÍVEL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Fernando Seabra, Dr.

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Alves, Carlos Frederico

Avaliação da eficiência de terminais de contêineres : uma aplicação do método DEA com a inclusão de um insumo intangível / Carlos Frederico Alves ; orientador, Fernando Seabra, 2019.

133 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2019.

Inclui referências

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Análise envoltória de dados (DEA). 3. Eficiência portuária. 4. Insumo intangíveis. I. Seabra, Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Carlos Frederico Alves

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE
CONTÊINERES: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA COM A
INCLUSÃO DE UM INSUMO INTANGÍVEL**

Esta Dissertação foi julgada adequado para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial” e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 24 de abril de 2019.

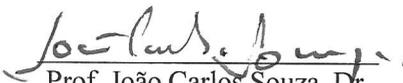


Prof. Norberto Hochheim, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



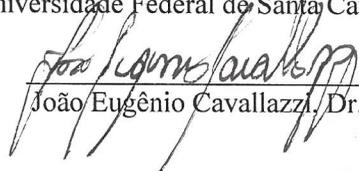
Prof. Fernando Seabra, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. João Carlos Souza, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

P1 

Prof.^a Vanina Macowski Durski Silva, Dr.^a (videoconferência)
Universidade Federal de Santa Catarina



João Eugênio Cavallazzi, Dr.

Prof. Dr. Norberto Hochheim
Coordenador PPGTG
Portaria nº 2818/2017/GR

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, em especial, que sempre colocaram a minha educação acima de qualquer coisa, bem como e a de minha irmã, com quem vivenciei a mesma experiência acadêmica simultaneamente.

Ao meu orientador, por todo o apoio desde a formulação do problema de pesquisa até a entrega do documento final, e aos membros da banca examinadora, que, tanto na qualificação quanto na defesa, fizeram contribuições fundamentais para o direcionamento e o desenvolvimento da dissertação.

À Deutsche Bahn, que proporcionou minha primeira experiência em consultoria em transportes e logística, e que me incentivou a iniciar o curso de mestrado na área. E ao Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans/UFSC) e amigos e colegas de equipe, por todo o conhecimento compartilhado, essencial para a execução da pesquisa, e pela oportunidade de crescimento profissional.

Aos meus amigos, pela convivência, apoio e inspiração nos mais diversos momentos, e, particularmente, aos amigos do grupo de estudos Transportes e Desenvolvimento (TD), por todas as contribuições e ensinamentos.

Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, sem aprender a refazer, a retocar o sonho por causa do qual a gente se pôs a caminhar.

(Paulo Freire, 1992)

RESUMO

A avaliação da eficiência de terminais de contêineres por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma ferramenta valiosa para o direcionamento assertivo de investimentos nesse setor de capital intensivo. Este estudo analisa o estado da arte em relação à utilização do método DEA para a avaliação da eficiência relativa no ambiente portuário e propõe a inclusão de um insumo intangível, relacionado à gestão dos terminais, nesse tipo de avaliação. A gestão de cada terminal foi avaliada com base na contemplação ou não de uma série de itens relacionados à gestão estratégica e operacional, agrupando-se os terminais conforme o número de itens contemplados, e classificando-os em uma escala ordinal. Para a verificação da relevância e efeitos da inclusão desse insumo intangível, a eficiência relativa de 13 terminais brasileiros de contêineres foi avaliada por meio da aplicação do modelo IDEA-CRS, que possibilita o tratamento adequado a variáveis de natureza qualitativa, considerando-se a orientação para a maximização de um único produto, a movimentação anual de contêineres, mantidos constantes os insumos relacionados à infraestrutura, superestrutura e à gestão dos terminais. Dos 13 terminais avaliados, apenas 3 mostraram-se eficientes, sendo que dois deles possuem as estruturas de gestão menos robustas entre as avaliadas, e o terceiro, que contempla todos os itens de gestão analisados, é o terminal com o maior volume de contêineres movimentados no ano-base entre os avaliados. Os resultados mostraram a relevância da inclusão da variável intangível analisada, indicando que, caso os dois primeiros terminais eficientes citados invistam em instrumentos de gestão, é necessário que ambos ampliem sua movimentação anual para que se mantenham avaliados como eficientes, ainda que os resultados indiquem que os terminais com estruturas de gestão mais robustas não são, necessariamente, os mais eficientes.

Palavras-chave: Análise envoltória de dados (DEA). Eficiência portuária. Insumos intangíveis. Gestão de terminais de contêineres.

ABSTRACT

The assessment of container terminals efficiency through Data Envelopment Analysis (DEA) is a valuable tool to ensure accurate investment decisions in this capital-intensive industry. This study analyses the state of the art on the application of DEA method to assess the efficiency in the port industry and proposes the inclusion of an intangible input related to the terminals management in this kind of evaluation. This intangible input was measured based on the fulfillment or not of a set of strategic and operational management items by each terminal covered in the study, grouping the terminals according to the number of items fulfilled, and ranking them on an ordinal scale. In order to verify the relevance and effects of this managerial input inclusion in the evaluation, the relative efficiency of 13 Brazilian container terminals was assessed through the application of the IDEA-CRS model, which enables the appropriate handling of qualitative variables, with the orientation to the maximization of a single product, the annual container throughput, having the inputs related to infrastructure, superstructure and management unchanged. Only 3 of the 13 terminals evaluated were assessed as efficient, two of which were placed among the least robust managerial structure terminals group, and the other efficient terminal, which fulfills all the management items analyzed, is the one with the largest volume of container throughput among the terminals evaluated in the year of analysis. The results express the relevance of including this intangible variable in the analysis, indicating that if the two former efficient terminals quoted invest in managerial issues, it will be necessary that the both terminals raise their annual container throughput in order to keep the efficient index, although the results show that the terminals with the most robust management structure are not necessary the most efficient ones.

Keywords: Data Envelopment Analysis (DEA). Port efficiency. Intangible inputs. Container terminals management.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Movimentação mundial de contêineres em milhões de TEUs por ano | 24 |
| Figura 2 - Padrão para a condução da modelagem quantitativa | 33 |
| Figura 3 - Padrão da sequência de processos para a construção do modelo DEA..... | 35 |
| Figura 4 - Resumo da metodologia aplicada ao estudo | 37 |
| Figura 5 - Resumo da revisão sistemática realizada pelo estudo... | 39 |
| Figura 6 - Etapas padrão do Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) | 47 |
| Figura 7 - Exemplo da orientação do método DEA aos insumos e aos produtos | 55 |
| Figura 8 - Exemplo de alvos e <i>benchmarks</i> para as DMUs ineficientes..... | 60 |
| Figura 9 - <i>Checklist</i> de instrumentos de planejamento utilizados pelo Porto de Santos | 78 |
| Figura 10 - Insumos e produtos selecionados pelo estudo para a avaliação da eficiência | 90 |
| Figura 11 - Formulário padrão para a coleta de dados dos terminais..... | 133 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Comparação entre os métodos DEA e SFA | 50 |
| Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário | 66 |
| Quadro 3 - Análise da aplicação de etapas subsequentes ao DEA em pesquisas sobre a avaliação da eficiência no setor portuário... | 82 |
| Quadro 4 - Descrição dos itens relacionados ao subgrupo gestão estratégica..... | 91 |
| Quadro 5 - Descrição dos itens relacionados ao subgrupo gestão operacional | 92 |
| Quadro 6 - Descrição dos insumos tangíveis utilizados no modelo..... | 93 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Parâmetros para o cálculo dos indicadores de atratividade da ANTAQ..... | 48 |
| Tabela 2 - Variáveis intangíveis responsáveis pela vantagem competitiva no setor aeroviário | 80 |
| Tabela 3 - DMUs selecionadas pelo estudo para a avaliação da eficiência | 88 |
| Tabela 4 - Resultado do teste KMO para a aplicação da ACP | 96 |
| Tabela 5 - Resultado da aplicação da ACP para a redução de variáveis | 97 |
| Tabela 6 - Valor alocado ao insumo gestão para cada DMU | 98 |
| Tabela 7 - Variáveis utilizadas para a aplicação do IDEA-CRS orientado ao produto..... | 98 |
| Tabela 8 - Resultados da aplicação do IDEA-CRS orientado ao produto | 102 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A&P – *Andersen & Petersen Model*
ACP – Análise de Componentes Principais
ANN – *Artificial Neural Network*
ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários
AP – Autoridade Portuária
APPA – Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina
BCC – Banker, Charnes e Cooper
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCR – Charnes, Cooper e Rhodes
CFS – *Container Freight Station*
CODESP – Companhia Docas do Estado de São Paulo
CRS – Retorno Constante de Escala
D&G – *Doyle & Green Model*
DDF – *Directional Distance Function*
DEA – Análise Envoltória de Dados
DMU – Unidade de Tomada de Decisão
DT – Árvore de Decisão
EDI – *Electronic Data Interchange*
GDFF – *Generalised Directional Distance Function*
IDEA – Análise Envoltória de Dados Imprecisos
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
KMO – *Técnica Kaiser-Meyer-Olkin*
LPI – Índice de Performance Logística
LSCI – Índice de Conectividade do Transporte Marítimo
MCDA – Método Multicritério de Apoio à Decisão
MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MHC – *Mobile Harbor Crane*
MMQ – Método dos Mínimos Quadrados
MPI – Índice de Produtividade de Malmquist
PIB – Produto Interno Bruto
PNLP – Plano Nacional de Logística Portuária
PTF – Produtividade Total dos Fatores
SBM – *Slacks-Based Measure*
SCE – *Simple Cross-Efficiency Model*
SDE – Secretaria de Desenvolvimento Econômico
SDEA – *Super-efficiency Data Envelopment Analysis*
SEF – *Strongly Efficient Frontier*
SFA – Análise de Fronteira Estocástica

SIF – *Strongly Inefficient Frontier*

SNP/MTPA – Secretaria Nacional de Portos do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil

SNPTA/MINFRA – Secretaria Nacional de Portos e Transportes Aquaviários do Ministério da Infraestrutura

SOM – *Self-Organizing Map*

TEU – Unidade equivalente a um contêiner de 20 pés

TDEA – *Tiered Data Envelopment Analysis*

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TUP – Terminal de Uso Privado

UNCTAD – *United Nations Conference on Trade and Development*

VRS – Retorno Variável de Escala

WGARIA – *Working Group "Accounting and Reporting of Intangible Assets"*

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 23 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 28 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 28 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 28 |
| 1.3 | RELEVÂNCIA | 28 |
| 1.4 | METODOLOGIA..... | 30 |
| 1.4.1 | Métodos de pesquisa | 31 |
| 1.4.2 | Procedimentos metodológicos | 32 |
| 1.4.3 | Técnicas de revisão bibliográfica | 37 |
| 1.5 | ESTRUTURA DO ESTUDO..... | 40 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 41 |
| 2.1 | EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS NO BRASIL | 41 |
| 2.2 | EFICIÊNCIA PORTUÁRIA | 44 |
| 2.3 | MÉTODOS PARA A ANÁLISE DA EFICIÊNCIA | 46 |
| 2.3.1 | Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) ... | 46 |
| 2.3.2 | Análise de Fronteira Estocástica (SFA)..... | 49 |
| 2.3.3 | Análise Envoltória de Dados (DEA) | 51 |
| 2.3.3.1 | Modelos do DEA..... | 52 |
| 2.3.3.2 | Orientação a insumos ou produtos..... | 54 |
| 2.3.3.3 | Alvo e <i>benchmarks</i> | 57 |
| 2.3.3.4 | Comparação com outros métodos | 62 |
| 2.4 | VARIÁVEIS TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS | 64 |
| 3 | CONSTRUÇÃO E SOLUÇÃO DO MODELO | 87 |
| 3.1 | UNIDADES DE TOMADA DE DECISÃO (DMUS)..... | 87 |
| 3.2 | INSUMOS E PRODUTOS | 90 |
| 3.3 | COLETA DE DADOS | 94 |
| 3.4 | TRATAMENTO DOS DADOS E SOLUÇÃO DO MODELO | 95 |
| 4 | RESULTADOS E ANÁLISES | 101 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 107 |
| | REFERÊNCIAS | 111 |
| | APÊNDICE A – Formulário para a Coleta de Dados | 133 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

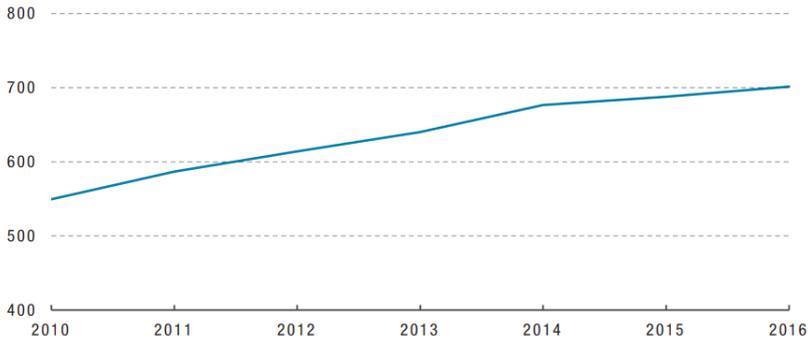
Os portos são elementos de fundamental importância para a atividade produtiva local e o comércio internacional, sendo responsáveis por uma movimentação superior a 80% do volume de mercadorias comercializadas em âmbito global (UNCTAD, 2017). Em relação à economia nacional, os portos foram responsáveis, no primeiro semestre de 2018, por um fluxo de aproximadamente 74 bilhões de dólares, o que representa 78% da balança comercial brasileira no mesmo período (CODESP, 2018; MDIC, 2018). Historicamente, de acordo com a Agência Porto Consultoria (2016), o setor já respondeu por aproximadamente 95% do comércio exterior nacional, ou seja, o valor somado, em dólares, das exportações e importações.

Dentre o volume total de mercadorias movimentadas nos portos brasileiros em 2017, que atingiu aproximadamente 1,09 bilhão de toneladas, cerca de 10% refere-se a carga containerizada, cuja representação em *twenty-foot equivalent unit* (TEU) equivale a 9,3 milhões de TEUs (ANTAQ, 2018). Esta participação tende a elevar-se nos próximos anos, dada a uniformização de processos ao longo de toda a cadeia logística e ganhos de escala promovidos pela movimentação de carga através de contêineres.

A containerização, conforme aponta artigo do *The Economist* (2013), teve papel mais importante na alavancagem do comércio internacional e na globalização do que qualquer acordo comercial entre nações nos últimos 50 anos. Ainda que a movimentação de contêineres nos portos brasileiros tenha ficado aquém das expectativas nos últimos anos, a perspectiva, conforme projeta a atualização de 2017 do Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP), é de que seja ultrapassada a marca de 20 milhões de TEUs até 2060 (BRASIL, 2017b).

Em âmbito internacional, embora os volumes de movimentação tenham aumentado continuamente nos últimos seis anos, verifica-se uma diminuição no ritmo de crescimento a partir de 2014, conforme retratado pela Figura 1.

Figura 1 - Movimentação mundial de contêineres em milhões de TEUs por ano



Fonte: UNCTAD (2018).

De acordo com a Lloyd's List (2017), ao passo que analistas preveem a manutenção de baixas taxas de crescimento na movimentação de contêineres de curto a médio prazo, algumas tendências de mercado resultam em uma significativa pressão sobre o desempenho operacional dos terminais de contêineres, na busca por ganhos de competitividade. Dentre estas tendências, pode-se citar o aumento da capacidade dos navios porta-contêineres, já havendo embarcações com capacidade superior a 21.000 TEUs, e fusões entre os maiores *players* do mercado, tanto entre armadores quanto entre os próprios terminais de contêineres.

A atracção de navios maiores em um terminal de contêineres normalmente está associada a uma menor frequência de atracções e períodos de pico nos volumes movimentados. Este cenário implica ora na sobreutilização, ora na subutilização da infraestrutura, como a estrutura de acostagem, e superestrutura, como equipamentos, tanto de cais quanto da retroárea do terminal.

A UNCTAD (2017) aponta que grandes volumes movimentados por atracção implicam em uma pressão sobre as operações no pátio. Já em relação à infraestrutura de acostagem, enquanto que se observa uma redução na utilização do cais, medida pelo volume movimentado (em TEUs) pelo seu comprimento (em metros), estima-se que, de 2014 para 2015, a média mundial de TEUs movimentado por hectare de pátio tenha aumentado em 2,5%.

Assim como o impacto nas métricas supracitadas, menciona-se também a necessidade da utilização de um número maior de

equipamentos de cais, em geral portêineres¹, e de equipamentos de pátio, como transtêineres² e empilhadeiras, de modo a evitar uma estadia elevada tanto dos navios quanto dos contêineres no porto, e consequente redução no nível de serviço. Destaca-se ainda uma maior demanda por mão-de-obra, bem como pela disponibilidade dos órgãos anuentes e demais aspectos relativos à infraestrutura e superestrutura do terminal, como calado autorizado nos berços e canal de acesso, oferta de tomadas para contêineres refrigerados e área para armazéns CFS (*Container Freight Station*), destinados a inspeções e ova e desova de contêineres.

Um exemplo prático do aumento do número de equipamentos de cais, estimulado pelo crescimento da capacidade dos navios porta-contêineres, é o do porto de Los Angeles-Long Beach, nos EUA (JOC GROUP INC., 2014). A operação regular de navios com capacidade de 8 mil TEUs, maior do que o observado até então, modificou o padrão de utilização de 4 para 6 portêineres por navio, sendo esperado ainda um aumento para 7 ou 8 portêineres, a medida em que sejam operados no porto navios com capacidade de 14 mil TEUs.

Com o desenvolvimento de toda a cadeia de transporte de contêineres, além da crescente participação da iniciativa privada no setor portuário, não só em âmbito nacional como internacional, os terminais de contêineres não desfrutam mais de uma condição de monopólio sobre a movimentação de cargas relacionadas à sua hinterlândia. Deste modo, os terminais não se preocupam apenas em dispor de capacidade para a movimentação de cargas, mas também em competir por elas (CULLINANE; WANG, 2007a; CULLINANE; WANG, 2010; LU; PARK; HUO, 2015).

A indústria envolvida na movimentação de contêineres, de acordo com Notteboom (2012), possui natureza de capital muito intensivo. Todas as mencionadas adaptações dos terminais ao mercado demandam consideráveis investimentos, sendo necessário,

¹ Portêineres, ou pórticos de cais, são guindastes de grande porte, montados sobre trilhos, especialmente desenhados para o embarque e desembarque de contêineres em navios, possuindo uma braçadeira de levantamento adaptada para o encaixe nos cantos de contêineres (APPA, 2011, p. 106).

² Transtêineres, ou pórticos de pátio, são equipamentos destinados à movimentação de contêineres de um a outro ponto do pátio. Podem ser montados sobre pneus ou linha férrea (APPA, 2011, p. 125).

portanto, buscar-se a otimização dos resultados e a manutenção da competitividade, levando em conta o limite de recursos financeiros disponível. Em outras palavras, é necessário maximizar a eficiência dos terminais.

Cullinane e Wang (2010) apontam que é recorrente, em estudos empíricos, encontrar-se evidências de uma dependência crítica entre a competitividade de instalações portuárias e seu nível de eficiência. Para a realização do cálculo do nível de eficiência, por sua vez, são encontrados diversos métodos na literatura, sejam aplicados ao setor portuário ou não.

Os estudos relacionados à eficiência e produtividade portuária podem ser classificados em três grupos principais, de acordo com González e Trujillo (2009), todos possuindo uma característica em comum: a busca por uma ferramenta que contribua na tomada de decisão, tanto na perspectiva de negócio quanto relacionada à elaboração de políticas econômicas. São eles: i) estudos que empregam indicadores de produtividade parcial e produtividade total dos fatores (PTF) do sistema portuário; ii) estudos com abordagem relacionada à engenharia, que utilizam sistemas de simulação e teoria das filas; iii) estudos relacionados a estimativas de fronteira de eficiência, em função da qual são derivados os respectivos índices das entidades avaliadas.

Em relação a este terceiro grupo, cuja aplicação em diferentes setores disseminou-se consideravelmente nos últimos anos, González e Trujillo (2009) destacam duas abordagens: a econométrica, cujo maior exemplo é o método da fronteira estocástica (SFA, do inglês – *Stochastic Frontier Analysis*); e as técnicas de programação matemática, com destaque para a Análise Envoltória de Dados (DEA, do inglês – *Data Envelopment Analysis*). Este último, aplicado no presente estudo, é definido por Cullinane e Wang (2010) como um método não-paramétrico destinado à mensuração da eficiência de uma Unidade de Tomada de Decisão (DMU, do inglês – *Decision-making Unit*), através da definição de um ou mais insumos (*inputs*) e um ou mais produtos (*outputs*).

Normalmente, são utilizados apenas insumos e produtos tangíveis para a avaliação de desempenho, especialmente no setor portuário, como as características da infraestrutura e superestrutura da instalação portuária, não sendo considerados os insumos intangíveis, como as características relacionadas à gestão. No entanto, existem alguns estudos que destacam a importância dos insumos intangíveis na qualidade dos serviços e competitividade de

instalações portuárias (PAK; THAI; YEO, 2015), na eficiência de prestadores de serviços de telecomunicação (KIM; PARK; PARK, 1999), ou nos resultados financeiros de empresas de diferentes setores (BONTEMPI; MAIRESSE, 2015).

Fernández, Montes e Vázquez (2000) definem os insumos intangíveis como recursos imateriais que consistem basicamente em conhecimento e informação. Tais insumos são classificados por WGARIA (2005 apud MOELLER, 2009), acrônimo para Grupo de Trabalho “Contabilidade e Reporte de Ativos Intangíveis“, do inglês – *Workgroup “Accounting and Reporting of Intangible Assets”*, em sete categorias interdependentes: inovação, capital humano, clientes, fornecedores, investidores, processos e localização. Como exemplo de insumo intangível aplicado a essa classificação, cita-se a utilização de *software* para a gestão das operações de um terminal, desenvolvido internamente ou externamente, que poderia ser classificado na categoria de inovação.

Na revisão bibliográfica, é melhor explorada a análise sobre diferentes variáveis (insumos e produtos) utilizadas para a condução de avaliações de eficiência, sejam elas tangíveis ou intangíveis, especialmente no setor portuário. Além disso, são identificados os principais modelos para a aplicação do DEA, bem como é discorrido acerca dos demais métodos frequentemente aplicados à análise de eficiência no setor portuário, identificando-se as vantagens e limitações decorrentes da utilização de cada um deles.

Diante do cenário exposto, este trabalho tem como objetivo contribuir com a metodologia para a avaliação da eficiência portuária, propondo a inserção de um insumo intangível na modelagem do DEA. Para tanto, a eficiência de 13 terminais brasileiros de contêineres é avaliada por meio da aplicação do modelo Análise Envoltória de Dados Imprecisos (IDEA, do inglês – *Imprecise Data Envelopment Analysis*), com orientação à maximização dos produtos e assumidos retornos constantes de escala (do inglês – *Constant Return to Scale*), utilizando-se, entre outras variáveis tangíveis, um insumo intangível relacionado à gestão dos terminais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência relativa de terminais portuários de contêineres, com ênfase na inclusão de uma variável intangível na análise, por meio da aplicação do modelo IDEA-CRS orientado ao produto.

1.2.2 Objetivos específicos

- (i) Identificar e analisar as principais variáveis utilizadas em publicações científicas para a avaliação da eficiência no setor portuário;
- (ii) Propor um conjunto de procedimentos para a coleta e tratamento de dados, com vistas à inclusão de um insumo intangível na modelagem do método DEA para a avaliação da eficiência de terminais de contêineres;
- (iii) Verificar os efeitos da inclusão de uma variável relacionada à gestão sobre a eficiência relativa de um conjunto de terminais brasileiros de contêineres.

1.3 RELEVÂNCIA

Dada a importância econômica dos terminais de contêiner e o aumento na competitividade entre os mesmos, a avaliação de eficiência é um elemento essencial não só para a gestão por parte de terminais e operadores portuários, como também para o planejamento portuário em âmbito regional e nacional (CULLINANE; WANG, 2010). De acordo com Lu, Park e Huo (2015), o investimento excessivo e inapropriado induz à ineficiência e desperdício de recursos, de modo que a otimização da eficiência através da utilização racional da infraestrutura e superestrutura disponível é a solução viável para manter um terminal competitivo.

Para a análise do desempenho de sistemas complexos, como os portos, onde há uma grande variedade insumos e produtos envolvidos, e deseja-se atribuir diferentes pesos a eles, Novaes (2007) sugere a utilização do método proposto por Charnes, Copper e Rhodes (1978), a Análise Envoltória de Dados (DEA). O autor afirma que o método, além de ser bastante difundido na análise de

produtividade e eficiência de órgãos públicos e empresas, serve também de apoio para estudos de *benchmarking*.

A avaliação da eficiência portuária através do método DEA, bem como a análise das relações entre as variáveis utilizadas, tem como objetivo auxiliar a tomada de decisão, levando-se em conta a hierarquização de prioridades (WANKE, 2013). Por parte dos órgãos governamentais responsáveis, a avaliação proposta pode apoiar na identificação das necessidades latentes no que tange ao direcionamento de investimentos em infraestrutura e superestrutura portuária, financiamento de projetos, concessões e autorizações.

No contexto da iniciativa privada, os terminais arrendados em portos públicos e os Terminais de Uso Privado (TUPs) podem, de modo comparado, identificar os gargalos relacionados, principalmente, à superestrutura e operações. Além disso, podem embasar o pleito por melhorias em infraestrutura ou expansões, caso seja identificado que os recursos dos quais já dispõem são utilizados de forma eficiente.

Alguns estudos, como o realizado por Wanke (2013), indicam a preferência por se analisar comparativamente portos que sejam rivais diretos entre si, localizados em um mesmo país ou que compartilhem a mesma hinterlândia, de forma que a importância de suas eficiências é acentuada. Por outro lado, é observado no referencial bibliográfico, como em Cullinane e Wang (2010) e Lu, Park e Huo (2015), a aplicação do DEA para a análise de eficiência de instalações portuárias em diferentes países, e inclusive em distintos continentes.

Notteboom e Yap (2012) pontuam que os terminais de contêineres competem não apenas com seus vizinhos imediatos, como também com outros portos localizados em regiões mais amplas. Além disso, a competição não é o único determinante de ganhos de eficiência, conforme evidenciado em Cullinane e Wang (2010). Sendo assim, no presente estudo todos os terminais brasileiros especializados na movimentação de contêineres foram abordados, sendo analisados os 13 terminais que se dispuseram a fornecer as informações necessárias para tanto. Mais detalhes sobre a seleção das instalações portuárias estudadas são discriminados na seção 3.1, referente aos materiais e métodos.

Faz-se necessário também, para a avaliação da eficiência através do método DEA, a execução de uma análise acerca das

variáveis a serem consideradas no modelo, uma vez que a fronteira de eficiência é definida a partir das relações entre os insumos e produtos. Embora haja vasta aplicação deste método no setor portuário, tanto para a avaliação de instalações brasileiras quanto estrangeiras, são escassos os estudos que incorporam à análise os insumos intangíveis.

Pode-se verificar, por meio da compilação de publicações relacionadas à avaliação de eficiência no contexto portuário, apresentada na seção 2.4, que todos os estudos analisados utilizam apenas insumos tangíveis na aplicação do DEA, sendo que o comprimento acostável, a área do terminal, o número de equipamentos de cais e de pátio número de berços, o número de funcionários e a área de pátio são os insumos utilizados com maior frequência. O mesmo aplica-se aos produtos, que normalmente são representados pela movimentação anual em TEUs.

Os insumos intangíveis, entretanto, são fatores determinantes para a performance econômica e elementos chave para a criação de vantagem competitiva (ANDONOVA; RUÍZ-PAVA, 2016). A criação de valor na indústria, de acordo com Moeller (2009), sofreu modificações substanciais nas últimas décadas, deixando de ser pautada basicamente em fatores físicos, como matéria prima, equipamentos e mão de obra, e passando a derivar de sua combinação com fatores imateriais, como inovação, tecnologias de informação e comunicação (TIC) e a qualificação dos recursos humanos.

É objeto de estudo desta dissertação, portanto, não apenas a classificação dos terminais selecionados de acordo com as suas eficiências relativas, como também os fatores que derivam nesses respectivos índices, ou seja, os insumos, produtos e especificações do modelo. Nesta análise, são avaliados os efeitos da inclusão de um insumo intangível, pauta pouco frequente na literatura sobre eficiência portuária, bem como o modo de tratá-lo para sua inclusão no método DEA.

1.4 METODOLOGIA

A seção de metodologia desta pesquisa é dividida em três itens. No primeiro deles, são discutidos conceitos relacionados a métodos de pesquisa, de modo a definir conceitualmente o método empregado neste estudo. No segundo item, são indicados os procedimentos metodológicos adotados para o cumprimento dos objetivos de pesquisa estabelecidos. Já no terceiro item, são descritas

as técnicas de revisão bibliográfica utilizadas, e os resultados obtidos.

1.4.1 Métodos de pesquisa

A escolha do método para a realização de uma pesquisa relaciona-se à natureza específica de cada problema investigado. O método é a escolha de procedimentos sistemáticos para a descrição e explicação de um estudo, e baseia-se principalmente em dois motivos: natureza do objeto a que se aplica e objetivo que se tem em vista (FACHIN, 2006).

Meredith *et al.* (1989) estipulam duas dimensões para a definição dos métodos de pesquisa: 1) racional/existencial; e 2) natural/artificial. A dimensão racional/existencial relaciona-se à epistemologia, sendo que em um extremo encontra-se o racionalismo, que utiliza a lógica pura para o entendimento de um sistema, enquanto que em outro extremo encontra-se o existencialismo, onde o entendimento é pautado na interação e interpretação do pesquisador em contato com o sistema estudado.

A segunda dimensão é relacionada à fonte e ao tipo de informação utilizada na pesquisa. No caso natural, o objeto de análise é observado de forma direta pelo pesquisador, como em estudos de campo. Já no artificial, a realidade do objeto, identificada em um primeiro estágio através de observação direta ou pela percepção de terceiros, é reconstruída, tornando-a apropriada a testes e experimentações, categoria na qual se enquadram as técnicas de modelagem e simulação.

Considerando-se que o estudo consiste na avaliação da eficiência de terminais de contêineres através de um modelo matemático, o DEA, infere-se que o método de pesquisa a ser seguido é o da modelagem quantitativa, ainda que sejam incluídas variáveis intangíveis no modelo. Miguel (2012) explica que este método é pautado no uso sistemático de técnicas analíticas (matemáticas e estatísticas) para descrever o funcionamento de um sistema ou parte de um sistema produtivo, de forma a auxiliar o seu tratamento.

Sendo assim, conforme o paradigma proposto por Meredith *et al.* (1989), as informações utilizadas nesta pesquisa são uma reconstrução artificial da realidade do objeto do estudo, no caso: as

operações dos terminais de contêineres. Em relação à primeira dimensão, Bertrand e Fransoo (2002) afirmam que a pesquisa através da modelagem quantitativa se enquadra na ótica racional, podendo ser classificada como axiomática ou empírica.

A modelagem axiomática é orientada à idealização do modelo em si, de modo a produzir conhecimento acerca do comportamento de determinadas variáveis com base em premissas relacionadas ao comportamento das demais. Já a modelagem empírica busca assegurar que haja uma convergência entre as observações da realidade e os resultados do modelo, testando a usabilidade das soluções propostas, ou validando a aplicabilidade do modelo teórico à situação estudada, conforme explicam Bertrand e Fransoo (2002), que é o caso em questão.

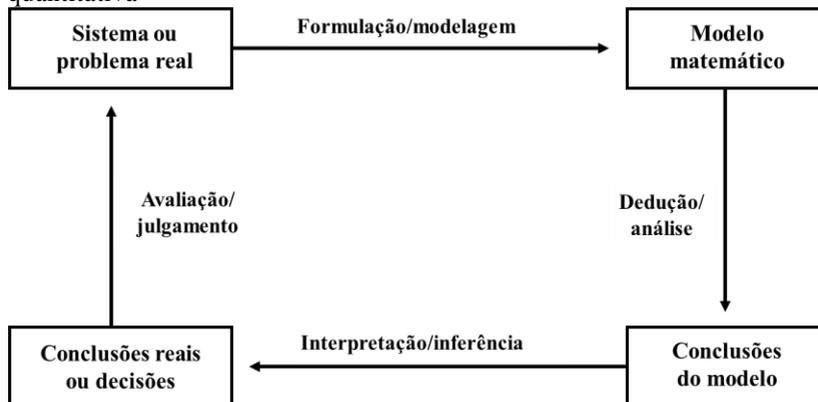
Ainda, a modelagem quantitativa empírica pode ser classificada em normativa ou descritiva. Enquanto que a normativa possui finalidade de desenvolver políticas, estratégias e ações para melhorar a situação atual, através de uma abordagem prescritiva, a pesquisa descritiva ocupa-se em assegurar que as relações causais existentes na realidade são adequadamente descritas por um modelo (BERTRAND; FRANSOO, 2002; MEREDITH *et al.*, 1989). Cervo e Bervian (1983, p. 55) complementam que “a pesquisa descritiva observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los”.

Levando em consideração essas definições, a condução do presente estudo é pautada no método da modelagem quantitativa empírica descritiva, uma vez que se pretende expressar de forma fidedigna as relações causais existentes em um sistema a partir de um modelo matemático, capaz de identificar a possibilidade de torná-lo mais eficiente. Os procedimentos utilizados para que se realizem tais análises são descritos na próxima seção.

1.4.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos padrão envolvidos na condução da pesquisa científica por meio da modelagem quantitativa são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Procedimentos padrão para a condução da modelagem quantitativa



Fonte: Arenales *et al.* (2007).

Com base neste diagrama, que vai ao encontro do fluxo de processos proposto por Bertrand e Fransoo (2002), Arenales *et al.* (2007) dividem a execução da pesquisa em cinco etapas, seguidas pelo presente estudo: 1) definição do problema, 2) construção do modelo, 3) solução do modelo, 4) validação do modelo e 5) implementação da solução. A única exceção é a quinta etapa, relacionada à implementação da solução, e respectivos processos de avaliação e julgamento de tal implementação, que não se aplica a este estudo, uma vez que não se pretende testar a usabilidade das soluções propostas, mas validar a aplicabilidade do modelo teórico à situação estudada, conforme citado anteriormente.

A primeira etapa envolve a delimitação do escopo e objetivos da pesquisa, conceitualização do sistema em estudo, proposta ou seleção do modelo conceitual a ser adotado, e identificação das alternativas de decisão e limitações sob as quais o sistema modelado funciona (ARENALES *et al.*, 2007; BERTRAND; FRANSOO, 2002; MIGUEL, 2012). Nesta etapa, o pesquisador deve traçar hipóteses relacionadas ao comportamento das variáveis da pesquisa, que possam ser mensurados ou observados de uma forma objetiva (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

A hipótese testada por este estudo é de que a inclusão de variáveis intangíveis na avaliação da eficiência relativa de terminais de contêineres contribui para o entendimento da situação atual dos

mesmos, e para a elaboração de planos de ação orientados à otimização de seus desempenhos. Tal hipótese é testada por meio da aplicação do modelo IDEA-CRS orientado ao produto, e consequentes análises relacionadas às eficiências relativas aferidas para cada DMU avaliada.

Além disso, para que o problema seja definido à luz do estado da arte do entendimento sobre o tema, é revisada a literatura referente à avaliação de eficiência, com ênfase em estudos aplicados ao setor portuário, contextualizando-se também o modelo da exploração das instalações portuárias no Brasil. São discutidas as características dos principais métodos utilizados para a aferição da eficiência relativa, analisando as vantagens e desvantagens da adoção do DEA para a análise proposta por este estudo, além da revisão acerca dos diferentes insumos e produtos aplicadas na literatura a este método.

A revisão bibliográfica, conforme explica Miguel (2012), faz-se importante para a delimitação das fronteiras do que se está investigando, além de proporcionar suporte teórico para a pesquisa e explicar o grau de evolução sobre o tema estudado. A análise das informações compiladas nessa etapa permite que se cumpra o objetivo específico (i) do estudo.

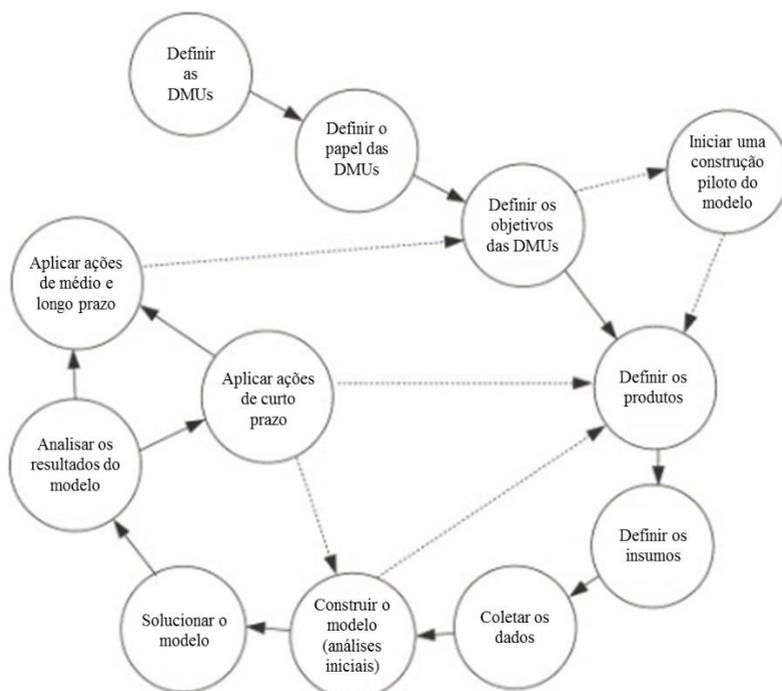
Além disso, na revisão bibliográfica também é discutida a importância da inclusão de insumos intangíveis na avaliação de eficiência, identificando-se evidências em outros setores e a possibilidade de aplicá-los ao setor portuário. Desta forma, busca-se dar sustentação teórica ao objetivo (ii). As técnicas utilizadas para a execução da revisão bibliográfica são descritas na seção 1.4.3.

Na segunda etapa, relacionada à construção do modelo, é realizada a seleção dos terminais de contêineres analisados (DMUs); seleção dos produtos e insumos aplicados ao método DEA, com base nas informações discutidas na revisão bibliográfica; definição das técnicas para a coleta de dados e elaboração dos instrumentos utilizados para tanto; e definição do modelo específico do DEA, e *software* para a sua aplicação. Este processo é resumido por Arenales *et al.* (2007) como formulação e modelagem, e a organização dessas informações cumpre o objetivo específico (ii) deste estudo.

Norman e Stoker (1991 apud CULLINANE; WANG, 2007a) propõem uma sequência de processos metodológicos semelhante à apresentada por Arenales *et al.* (2007), iniciando-se a partir da construção do modelo, à qual é dada ênfase. Esta abordagem, ilustrada na Figura 3, direciona-se especificamente à modelagem

através do DEA, e discrimina as subetapas para a construção do modelo, seguida pelo presente estudo.

Figura 3 - Padrão da sequência de processos para a construção do modelo DEA



Fonte: Adaptado de Norman e Stoker (1991 apud CULLINANE; WANG, 2007a).

Em relação às técnicas de pesquisa para a coleta de dados, Lakatos e Marconi (2010) as classificam em: documentação indireta, documentação direta (pesquisa de campo e pesquisa de laboratório), observação direta intensiva (observação e entrevista) e observação direta extensiva (questionário e formulário). Pressupõe-se, neste caso, a utilização de documentação indireta, através de dados secundários divulgados pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), informações contidas nos planos mestres de cada porto, divulgadas pela então Secretaria Nacional de Portos do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (SNP/MTPA),

atual Secretaria Nacional de Portos e Transportes Aquaviários do Ministério da Infraestrutura (SNPTA/MINFRA), e informações divulgadas nos sítios eletrônicos dos próprios terminais, além de observação direta extensiva, na forma de formulários previamente preenchidos pelo pesquisador e posteriormente enviados para os terminais de contêineres selecionados, para a validação dos dados coletados e obtenção de informações não disponíveis em meios públicos.

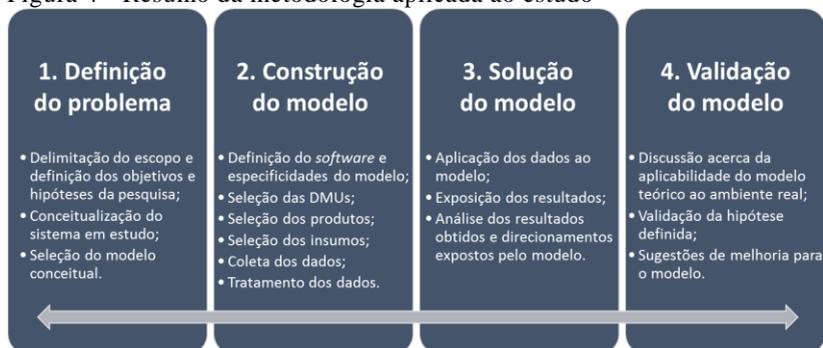
Após a coleta e tratamento dos dados, procede-se à terceira etapa, na qual o modelo é solucionado através do *software* selecionado, aferindo-se as eficiências relativas. Além deste processo, definido por Arenales *et al.* (2007) como dedução, esta etapa também compreende análises acerca dos resultados e direcionamentos expostos pelo modelo.

Na quarta etapa, destinada à validação do modelo, é discutido se as conclusões obtidas através desta reconstrução artificial referente ao ambiente de operações portuárias de contêineres têm significado suficiente para se realizar inferências relacionadas ao ambiente real. São realizadas, para este fim, interpretações acerca das causalidades aferidas nas relações entre insumos, produtos e índices de eficiência, especialmente no que se refere aos insumos intangíveis, de modo a satisfazer o objetivo específico (iii) da pesquisa.

De acordo com Bertrand e Fransoo (2002), a etapa de validação do modelo é a mais importante em uma modelagem quantitativa empírica descritiva. A execução de tal etapa resulta na confirmação da aplicabilidade total ou parcial do modelo teórico, ou a sua rejeição, suscitando sugestões de melhoria para uma representação mais assertiva da situação em estudo.

Um resumo da sequência de procedimentos metodológicos utilizados para a execução desta pesquisa, incluindo as quatro etapas citadas anteriormente, é apresentado na Figura 4. O resumo indica que a execução do estudo não é, necessariamente, linear, havendo a possibilidade de serem retomadas etapas, mediante a observação de fatos novos ao longo do seu desenvolvimento.

Figura 4 - Resumo da metodologia aplicada ao estudo



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

1.4.3 Técnicas de revisão bibliográfica

Utilizaram-se duas técnicas para a execução da pesquisa bibliográfica, e a conseqüente seleção do referencial teórico deste estudo: revisão narrativa, ou tradicional, e revisão sistemática. A revisão narrativa trata-se de uma busca arbitrária, não sendo pré-determinada e específica, e que não busca a generalização ou compilação de publicações acerca do tema (PARÉ; KITSIOU, 2017; PETTICREW; ROBERTS, 2006). As fontes selecionadas através da revisão narrativa foram utilizadas principalmente para o capítulo introdutório do estudo, e referem-se, em geral, à indústria portuária e de contêineres, aspectos metodológicos, pesquisa operacional e ao método DEA.

Já a revisão sistemática respeita um protocolo rígido, estruturado e transparente que, por meio de busca exaustiva em múltiplas fontes, procura responder aprofundadamente uma questão específica, claramente definida antes da pesquisa, de forma a sintetizar o estado da arte acerca do tema abordado (DAVIES; CROMBIE, 2001; PARÉ; KITSIOU, 2017; PETTICREW; ROBERTS, 2006). Para a realização da revisão sistemática deste estudo, foi utilizado o gerenciador de referências *EndNote*, e foram consultadas as bases de periódicos *ScienceDirect* e *Scopus*, que contêm publicações nas áreas de engenharias, ciências socioeconômicas e ciências físicas e matemáticas.

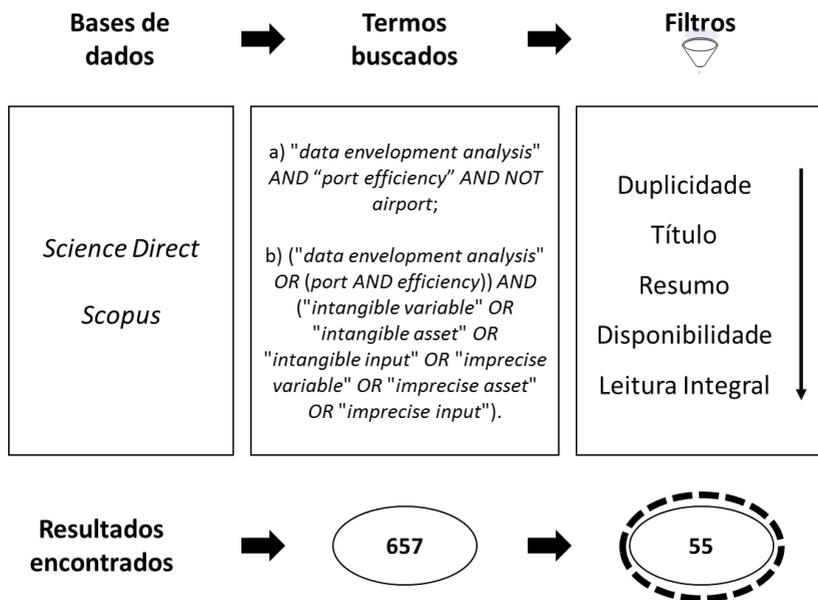
As buscas foram feitas com os dois conjuntos de palavras-chave a seguir: a) "*data envelopment analysis*" AND "*port efficiency*"

AND NOT airport; b) ("data envelopment analysis" OR (port AND efficiency)) AND ("intangible variable" OR "intangible asset" OR "intangible input" OR "imprecise variable" OR "imprecise asset" OR "imprecise input")). A utilização de tais palavras-chave teve como finalidade: por meio do conjunto a), mapear os estudos que utilizam o método DEA para a avaliação da eficiência relativa no setor portuário; e por meio do conjunto b), mapear os estudos que utilizam o método DEA ou analisam de outra forma o setor portuário, com a inclusão de insumos intangíveis, utilizando exatamente estes dois termos ou termos análogos.

Não foram incluídas restrições relacionadas à seção das publicações onde os termos aparecem, nem à data de publicação dos artigos, sendo que as buscas foram realizadas em 21 de julho de 2018, e, portanto, publicações posteriores não foram contempladas na revisão sistemática. A opção por não restringir a data pauta-se no interesse em verificar a evolução da escolha de variáveis ao longo do tempo, levando-se também em consideração a disseminação recente da utilização do DEA.

As buscas, realizadas conforme os parâmetros citados, retornaram 657 artigos, que foram filtrados sistematicamente a fim de selecionar aqueles que cumprem com a finalidade indicada na seleção das palavras-chave. Um resumo da revisão sistemática, contendo informações quantitativas e qualitativas relativas ao processo de seleção dos artigos, é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Resumo da revisão sistemática realizada pelo estudo



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Inicialmente, os artigos foram filtrados pela existência de duplicidade e pelo título, o que reduziu o resultado para 178 artigos. Os resumos destes artigos foram analisados, de modo que 95 foram selecionados para serem lidos integralmente. Deparando-se com a indisponibilidade de acesso a 23 desses artigos, foram lidos 72 artigos, selecionando-se 55 deles para compor o embasamento teórico desta pesquisa junto com as referências selecionadas pela revisão narrativa.

Das 55 publicações selecionadas na revisão sistemática, 47 utilizam o método DEA para a avaliação da eficiência no setor portuário, e cumprem a finalidade do emprego do conjunto a) de palavras-chave. Esses artigos são listados no Quadro 2, na seção 2.4, onde são analisadas as aplicações de variáveis tangíveis e intangíveis na avaliação de eficiência no setor portuário.

Já os outros 8 artigos selecionados são referenciados ao longo do desenvolvimento do referencial teórico, da mesma forma como os artigos selecionados pela revisão narrativa. Entre eles, 4 relacionam-se à finalidade estabelecida pelo conjunto de palavras-chave b),

sejam eles: Zhu (2003), Chen e Zhu (2007), Pearson, Pitfield e Ryley (2015) e Córdova, Durán e Galindo (2016). Já os 4 artigos restantes, publicados por Tongzon e Heng (2005), Yeo (2010), Núñez-Sánchez e Coto-Millán (2012) e Serebrisky *et al.* (2016) não se relacionam com a finalidade definida para a revisão sistemática, mas possuem conteúdo relevante acerca da avaliação da eficiência no setor portuário, e, portanto, foram utilizados como referência teórica para este estudo.

1.5 ESTRUTURA DO ESTUDO

O presente estudo é composto por cinco capítulos, incluindo-se este capítulo introdutório, que apresenta uma contextualização sobre o tema, os objetivos da pesquisa, a relevância da sua aplicação e o método a ser seguido para o cumprimento dos objetivos. Na sequência, são descritas resumidamente as informações abordadas em cada um deles, bem como o escopo e delimitações definidos para a condução da pesquisa.

O Capítulo 2 destina-se à revisão bibliográfica, cujos tópicos foram previamente citados na seção reservada à metodologia. No Capítulo 3, é realizada a descrição dos materiais e métodos utilizados para a construção e solução do modelo, com base nos parâmetros discutidos na referencial teórico, ou seja, são identificadas as DMUs analisadas, os insumos e produtos incluídos no modelo, o processo de coleta de dados, e as ferramentas e técnicas para o tratamento dos dados coletados e para a solução do modelo.

No Capítulo 4, descrevem-se os resultados encontrados a partir da solução do modelo, e são analisadas as informações apresentadas, de modo a realizar sua validação, que é complementada no capítulo seguinte. Por fim, no Capítulo 5 são relatadas as considerações finais, limitações do estudo e recomendações para trabalhos futuros relacionados à eficiência de terminais de contêineres e à utilização de insumos intangíveis para tal análise.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, explica-se brevemente o modelo que norteia a exploração das instalações portuárias brasileiras, e é revisada a bibliografia que trata a respeito do conceito de eficiência, especialmente no contexto do setor portuário, com ênfase na análise acerca da aplicação de variáveis intangíveis para a sua avaliação. O capítulo é dividido em uma seção que trata sobre a exploração de instalações portuárias no Brasil, uma seção sobre a eficiência no setor portuário, outra seção onde são descritos os métodos utilizados com maior frequência para a sua avaliação, e uma quarta seção que analisa a utilização de variáveis tangíveis e intangíveis em estudos anteriores relacionados ao setor portuário.

2.1 EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS NO BRASIL

Esta seção contempla uma breve revisão da evolução do marco regulatório do setor portuário no Brasil e dos conceitos relacionados à exploração de instalações portuárias. Tal revisão é conduzida a fim de permitir a identificação das entidades responsáveis por diferentes necessidades de melhoria no ambiente portuário, eventualmente constatadas na avaliação de eficiência.

O sistema portuário brasileiro teve, desde o Brasil colonial até a segunda metade do século XIX, durante o Brasil imperial, seu direito à exploração restrito ao setor público (FREITAS, 2014). A partir de então, a iniciativa privada passou a ser inserida no contexto de investimentos e exploração portuária, por meio do Decreto nº 1.746, de 13 de outubro de 1869, que autorizou o governo a contratar empresas privadas para a construção e concessão de infraestrutura de cais e de armazenagem nos portos do país.

Já no Brasil república, em 1934, ocorreu a primeira sistematização do direito portuário, por meio da publicação de quatro decretos: Decreto nº 24.447, Decreto nº 24.508, Decreto nº 24.511 e Decreto nº 24.599, que apresentam definições legais, regulam a utilização das instalações portuárias e centralizam a administração portuária no governo brasileiro (FREITAS, 2014). Entre as definições legais introduzidas, destacam-se a dos “portos organizados”, que, de acordo com o Decreto nº 24.447, são os portos

melhorados, ou aparelhados, para o atendimento às necessidades da navegação e da movimentação e armazenagem de mercadorias, e sob a direção de uma "administração do porto", que, por sua vez, é a entidade responsável pela execução dos serviços portuários e a conservação das instalações portuárias (BRASIL, 1934a).

Tal sistema é característico do modelo de exploração portuário *service port*, definido por Goldberg (2009, p. 47) como o modelo no qual a Autoridade Portuária (AP), papel exercido diretamente pelo governo ou por entidade pública concessionária do porto organizado, "constrói a infraestrutura portuária e de acesso terrestre e marítimo, a superestrutura, equipa os terminais, os opera e administra o complexo portuário". De acordo com Lima (2009), esse sistema legal vigorou com poucas modificações até a publicação da Lei nº 8.630/1993, conhecida como Lei dos Portos, ou Lei de Modernização dos Portos, que revoga esses quatro decretos. Dentre as poucas modificações citadas entre os dois períodos, destaca-se a publicação do Decreto-lei nº 5, de 4 de abril de 1966, que permitiu a construção e exploração de instalações portuárias privadas, desde que fossem utilizadas para movimentar apenas carga própria.

A Lei de Modernização dos Portos acentuou a guinada liberal iniciada pelo Decreto-lei nº 5, de 1966, e estimulou o crescimento da participação da iniciativa privada no setor portuário. Esse marco regulatório incentivou o arrendamento de terminais localizados dentro de portos organizados à iniciativa privada e a autorização para a implantação de terminais privados fora da área dos portos organizados, facultando-lhes a possibilidade de movimentarem tanto carga própria quanto de terceiros. A Lei nº 8.630/1993 também definiu a figura do operador portuário, que é a pessoa jurídica pré-qualificada para executar atividades relacionadas à operação portuária dentro do porto organizado.

Sendo assim, o modelo de exploração dos portos públicos no Brasil passou a ser, majoritariamente, o *Landlord Port*. Neste modelo, a propriedade do porto organizado, ou seja, o porto público, é do Estado, que se responsabiliza pela administração e pelos investimentos em expansão e manutenção da infraestrutura, enquanto que a operação portuária é realizada pela iniciativa privada, responsável pelos investimentos na superestrutura do terminal (BNDES, 2012).

De acordo com o Campos Neto *et al.* (2009), a infraestrutura, no contexto do transporte marítimo, divide-se em: aquaviária, composta pelos canais de acesso aos portos, bacias de evolução,

quebra-mares, hidrovias e berços de atracação; e portuária, composta pelos ativos fixos sobre os quais ocorre a movimentação de cargas entre os navios e os modais terrestres. Já a superestrutura contempla equipamentos para movimentação das cargas e instalações para a armazenagem das mesmas, tais como guindastes, esteiras e armazéns.

Em 2013, um novo marco regulatório foi instituído por meio da Lei nº 12.815, conhecida como a Nova Lei dos Portos, que revogou a Lei nº 8.630/1993 e segue vigente até a data de elaboração desta pesquisa. Além de apresentar algumas novas definições, como a dos TUPs, que passam a ser designados como Terminais de Uso Privado, e descritos como instalações portuárias localizadas fora da área do porto organizado e exploradas mediante autorização, a Nova Lei dos Portos centraliza as principais deliberações do setor no poder concedente, ou seja, o governo federal, que passa a ser o responsável tanto pelas autorizações de TUPs como pelas concessões de arrendamentos dentro dos portos organizados. A Nova Lei dos Portos também determina dispositivos legais para a regulação do setor, apoiada pelo Decreto nº 8.033, de 27 de junho de 2013, que, com o objetivo de reduzir os entraves para o desenvolvimento do setor, foi alterado pelo Decreto nº 9.048, de 10 de maio de 2017.

No caso dos TUPs, de forma distinta dos portos organizados, a administração do terminal, os investimentos em expansão e manutenção da infraestrutura e os investimentos em superestrutura cabem à iniciativa privada, conforme previsto na legislação vigente. A implantação de tais empreendimentos e suas expansões, entretanto, devem ser autorizadas pelo Estado e estão sujeitas a medidas a serem adotadas pela ANTAQ, para que sejam assegurados o cumprimento dos cronogramas de investimento e as condições de exploração da atividade previstas em contrato (BRASIL, 2013b).

Uma exceção à exploração de instalações portuárias no modelo dos TUPs, previamente definido, no contexto de terminais de contêineres, é observada no estado do Ceará. O Terminal Portuário do Pecém é um TUP administrado por uma empresa vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE) do estado do Ceará, a CIPP S/A, que é uma empresa de economia mista, e as operações de contêineres ficam a cargo de uma outra empresa privada prestadora de serviços, a APM Terminals.

2.2 EFICIÊNCIA PORTUÁRIA

Quando se aborda o tema eficiência, em um contexto empresarial, trata-se do sucesso em produzir o máximo possível de um produto, dado um conjunto de insumos (FARREL, 1957). Para mensurá-la, de acordo com González e Trujillo (2009), é necessário comparar os valores observados dos insumos e produtos de uma entidade com os valores ótimos decorrentes da relação entre estas mesmas variáveis de um grupo de entidades semelhantes.

Estes valores ótimos, conforme explicam Suárez-Alemán *et al.* (2016), configuram uma fronteira de produção, função que engloba o conjunto de valores máximos dos produtos, dados diferentes valores de insumos, ou o valor mínimo de um conjunto de insumos, dados diferentes valores de produtos, e cujo conceito foi introduzido em estudo pioneiro conduzido por Farrel (1957). Sendo assim, ainda de acordo com os autores, a eficiência de uma entidade pode ser medida pela distância entre a posição observada de sua relação entre insumos e produtos, e a fronteira de produção, que representa as melhores práticas identificadas.

Ao analisar os elementos determinantes para a competitividade portuária, Tongzon e Heng (2005) citam o nível de eficiência das operações do terminal como o fator estatisticamente mais significativo, de modo que quanto mais eficiente for a operação de determinado terminal, maior é a chance de ser escolhido pelas linhas de navegação para receberem seus navios, e conseqüentemente maior tende a ser o seu *market share*. A eficiência de um porto ou de um terminal, de acordo com os autores, é representada pela quantidade de recursos necessários para desempenhar uma dada tarefa em determinado espaço de tempo.

Além da eficiência, sete outros fatores são citados por Tongzon e Heng (2005) como determinantes para a competitividade portuária: taxas de movimentação no terminal, confiabilidade, preferências dos operadores logísticos, calado operacional nos terminais, adaptabilidade às mudanças do mercado, acessos terrestres ao terminal e diferenciação dos serviços prestados em relação aos concorrentes.

A estimativa da eficiência é um conceito diretamente relacionado à produtividade, e embora não sejam conceitos equivalentes, muitos autores os tratam como tal, principalmente quando o foco da pesquisa é direcionado à comparação da performance de empresas. No entanto, enquanto que a produtividade

relaciona-se à razão entre uma função que inclui produtos e uma função que inclui insumos, para uma mesma empresa, a eficiência relaciona-se à comparação entre valores de produtos e insumos de uma empresa com outros valores ótimos, resultantes de evidências de outras empresas presentes na análise (GONZÁLEZ; TRUJILLO, 2009). Wilmsmeier, Tovar e Sanchez (2013) complementam que a produtividade refere-se a uma relação observada entre produtos e insumos, e a eficiência relaciona-se à capacidade de atingimento de um valor máximo de produtos, com base na disponibilidade de insumos, ou, alternativamente, à capacidade de atingimento de um determinado valor de produtos utilizando o mínimo possível de insumos.

Existem dois tipos de eficiência, de acordo com Kutin, Nguyen e Vallée (2017): alocativa, que se relaciona a custos, e técnica. Enquanto que a primeira representa a combinação ótima de insumos e produtos, levando-se em conta que o produtor procura minimizar custos, a segunda representa a efetividade com que uma combinação de insumos é utilizada para produzir um produto. González e Trujillo (2009) ainda acrescentam o conceito de eficiência econômica, que indica se a empresa é eficiente tanto do ponto de vista de custos como técnico, e pode ser determinada pelo produto entre a eficiência alocativa e técnica. No contexto portuário, normalmente é analisada a eficiência técnica, tendo em vista a dificuldade de obtenção e comparação de informações relacionadas aos custos no setor.

González e Trujillo (2009) complementam que, para se avaliar a eficiência de uma unidade produtiva, é necessário haver um modelo a ser seguido, de modo que se identifique uma referência para avaliação, uma vez que a eficiência, conforme indicado anteriormente, é um índice intrinsecamente relativo. Nas três últimas décadas, de acordo com os autores, duas abordagens foram desenvolvidas para se estimar a fronteira de produção e medir a eficiência: a econométrica e a programação matemática, cujos modelos mais frequentemente adotados são, respectivamente, a fronteira estocástica e o DEA.

Destaca-se ainda um terceiro método: o Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA, do inglês – *Multiple-criteria Decision Analysis*). Embora não trate especificamente sobre eficiência, o método propõe uma análise comparada acerca do desempenho de um conjunto de DMUs.

2.3 MÉTODOS PARA A ANÁLISE DA EFICIÊNCIA

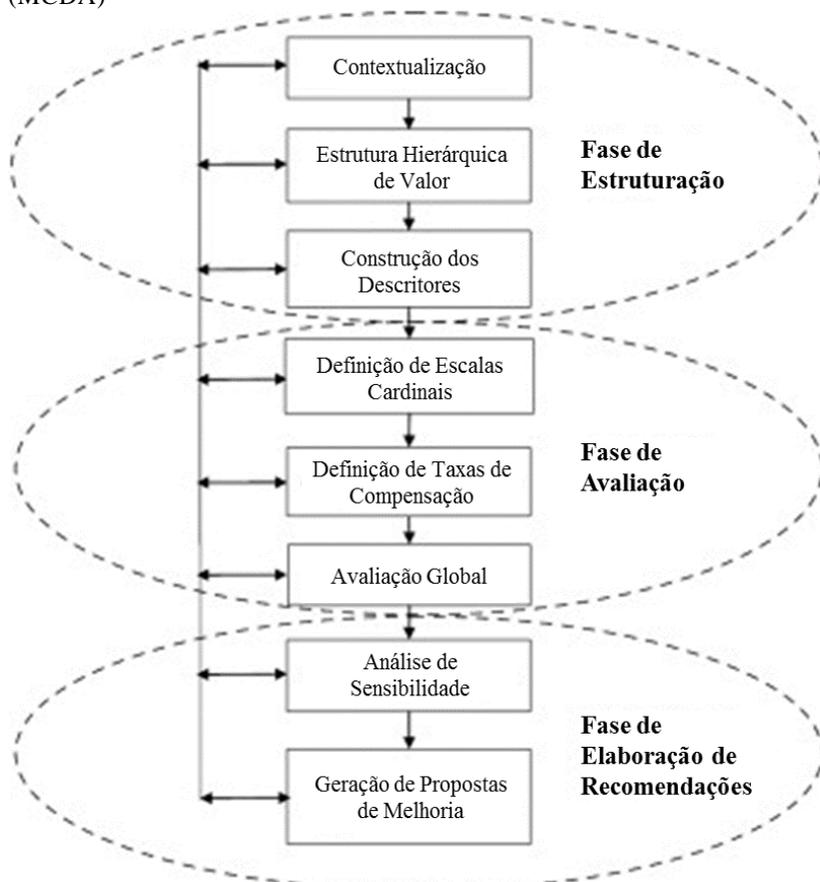
2.3.1 Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA)

De acordo com Madeira Junior *et al.* (2012), o MCDA é um método direcionado à solução de problemas não estruturados com base em uma abordagem construtivista, que prevê a interação entre elementos objetivos (dados) e subjetivos (valores relacionados à percepção dos tomadores de decisão e *stakeholders* envolvidos).

O método, conforme explicam Moraes *et al.* (2010), permite a construção de um modelo baseado no entendimento de tomadores de decisão e *stakeholders* (sujeitos) acerca de um contexto de decisão (objeto). Nesta abordagem o analista busca construir um instrumento de decisão que englobe diversos critérios, com base em diferentes pontos de vista dos sujeitos, estabelecendo as relações de preferência entre alternativas (BOUYSSOU, 1990).

As etapas para a construção do MCDA são representadas na Figura 6.

Figura 6 - Etapas padrão do Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA)



Fonte: Adaptado de Moraes *et al.* (2010).

Em síntese, a primeira etapa, de estruturação, consiste na construção do modelo junto aos sujeitos, determinando as dimensões de avaliação. Na segunda etapa essas dimensões de avaliação são manipuladas, transformando-as da escala ordinal para escala cardinal, de modo que se possa estruturar a equação modelo e aplicar os dados nela, aferindo-se os resultados de performance. Por último, na terceira fase, os dados são analisados e as propostas de melhoria são apresentadas.

Um exemplo da utilização do MCDA para o setor portuário, ainda que de forma simplificada, são os Indicadores de Atratividade, apresentados pela ANTAQ nos primeiros cinco de seis volumes do Panorama Aquaviário, documentos publicados entre 2007 e 2011. O modelo para o cálculo destes indicadores, que “medem a atratividade que cada porto ou terminal exerce sobre os usuários”, de acordo com a ANTAQ (2010, p. 40), sofreu alterações no decorrer das edições, sendo que na mais recente delas, respeita os parâmetros expostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros para o cálculo dos indicadores de atratividade da ANTAQ

| Critério | Peso | Faixa de pontuação |
|---|-------------|---------------------------|
| Quantidade total movimentada (TEUs) | 4 | 5 a 10 |
| Tempo médio de espera dos navios para atracação | 2 | 5 a 10 |
| Prancha média | 2 | 5 a 10 |

Fonte: Adaptado de ANTAQ (2010).

Madeira Junior *et al.* (2012) apontam que o modelo proposto pela ANTAQ possui algumas inadequações técnicas: os critérios não são mutuamente independentes, e não é possível realizar uma análise de série histórica devido às alterações do método ao longo do tempo, além de não ser possível a comparação entre TUPs e terminais públicos, uma vez que são avaliados em escalas de performance separadas. Em relação à interdependência entre os critérios, os autores indicam a utilização da técnica estatística da análise de fatores, o que permite a simplificação da estrutura do modelo e eliminação de informações redundantes.

As vantagens da utilização do MCDA em relação ao DEA, de acordo com Madeira Junior *et al.* (2012), são: não há restrições quanto ao número de critérios (insumos e produtos) em relação às alternativas (DMUs); os pesos dos critérios são fixados e têm sua avaliação definida pelos tomadores de decisão; novas DMUs podem ser analisadas sem que o modelo tenha que ser ajustado; podem ser utilizados tanto dados quantitativos como qualitativos. Como

desvantagem do MCDA, o autor cita a necessidade de que o número de critérios deve estar dentro da capacidade cognitiva dos tomadores de decisão.

Na seção 2.3.3, sobre o DEA, são apresentados argumentos que contrapõem as limitações apresentadas para o método. Ainda assim, é válido destacar que o objeto deste estudo é a avaliação da eficiência dos terminais, e não suas performances ou atratividade sobre os usuários.

2.3.2 Análise de Fronteira Estocástica (SFA)

O método da Análise de Fronteira Estocástica (SFA) é uma abordagem econométrica desenvolvida por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) para a estimativa de eficiência através de análise da fronteira de produção, introduzindo a especificação do termo de erro estocástico, de modo a considerar possíveis ruídos estatísticos no modelo. A eficiência de uma DMU é representada por um índice entre 0 e 1, onde 1 indica que a unidade é eficiente, e é determinada pela relação entre o produto observado e o produto máximo factível, dados os insumos disponíveis e considerado o desvio da fronteira decorrente do termo de erro estocástico (TRIGO, 2010).

A principal diferença entre o DEA e o SFA consiste no fato de que o primeiro é pautado em uma abordagem não-paramétrica e determinística, enquanto que o segundo é um método paramétrico e, conforme seu nome sugere, estocástico (GONZÁLEZ; TRUJILLO, 2009). Abordagens estocásticas, de acordo com Franco e Fortuna (2003), permitem que a ineficiência seja distinguida dos ruídos estatísticos, enquanto que, nos modelos determinísticos, os desvios das posições observadas em relação à fronteira eficiente são considerados resultado exclusivo da ineficiência.

Por outro lado, conforme explicam González e Trujillo (2009), o fato da abordagem do SFA ser paramétrica implica na necessidade de especificar-se uma forma funcional para o modelo, de modo que se esta apresentar alguma inadequação, isto será confundido com ineficiência. Já modelos não paramétricos são menos sensíveis a este tipo de erro, uma vez que os dados não precisam obedecer a uma distribuição específica. Além disso, acomodam a análise com mais de um produto com maior facilidade, embora existam casos de

aplicação da fronteira estocástica com múltiplos produtos, como é o caso do estudo realizado por Moretti, Rocha e Mazucheli (2012).

Os métodos paramétricos, portanto, pré-definem relações entre os recursos e o que poderia ser produzido, e normalmente utilizam médias para determinar essa produção máxima. Já no caso dos não paramétricos, como o DEA, a produção máxima é delimitada por meio da observação das unidades mais produtivas (MELLO *et al.*, 2005).

O SFA é um modelo estatístico e, portanto, permite que a incerteza sobre os resultados seja mensurada (CORNWELL; SCHMIDT, 1996). No Quadro 1 é apresentada uma compilação entre as diferenças mencionadas entre os métodos DEA e SFA, adicionando alguns itens à análise.

Quadro 1 - Comparação entre os métodos DEA e SFA

(continua)

| Análise Envoltória de Dados (DEA) | Análise de Fronteira Estocástica (SFA) |
|---|---|
| Abordagem não paramétrica | Abordagem paramétrica |
| Abordagem determinística | Abordagem estocástica |
| Não considera ruído aleatório | Considera ruído aleatório |
| Não permite o teste de hipóteses estatísticas | Permite o teste de hipóteses estatísticas |
| Não assume premissas acerca da distribuição do índice de ineficiência | Assume premissas acerca da distribuição do índice de ineficiência |
| Não inclui termo de erro | Inclui termo de erro composto e simétrico |
| Não exige a especificação de forma funcional | Exige a especificação de forma funcional |

Quadro 1 - Comparação entre os métodos DEA e SFA

(conclusão)

| Análise Envoltória de Dados (DEA) | Análise de Fronteira Estocástica (SFA) |
|---|--|
| Sensitivo ao número de variáveis, erros nos dados e <i>outliers</i> | Pode confundir ineficiência com a má especificação do modelo |
| Método de avaliação: programação matemática | Método de avaliação: econometria |

Fonte: Adaptado de González e Trujillo (2009).

A comparação entre os dois métodos é tema recorrente na literatura, não havendo consenso acerca da superioridade de um ou outro (BICHOU, 2007; GONZÁLEZ; TRUJILLO, 2009). A escolha do método a ser utilizado para a avaliação da eficiência, portanto, deve ser definida conforme os objetivos de pesquisa e características da base de dados disponível (TRIGO, 2010).

2.3.3 Análise Envoltória de Dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é um método baseado em programação matemática, utilizando-se, para a solução de problemas de pesquisa, a Programação Linear, definida por Jubran (2006, p. 95) como “uma técnica utilizada para a otimização de problemas em que há diversas opções de escolha, sujeitas a algum tipo de restrição ou regulamentação”. A Programação Linear é a ferramenta mais aplicada em Pesquisa Operacional, instrumento de auxílio no processo de tomada de decisão, com enfoque sistêmico, que tem como propósito identificar o melhor uso técnico, econômico social e político de recursos geralmente escassos através do método científico (ACKOFF; SASIENI, 1971; ANDRADE, 2009; JUBRAN, 2006).

O método DEA trata-se de uma abordagem determinística, não paramétrica, cujo objetivo é estimar a eficiência relativa de DMUs a partir de determinados insumos e produtos. De acordo com Lu, Park e Huo (2015), esta estimativa de eficiência é alcançada através da construção de um único produto “virtual” para um único insumo

“virtual” sem que seja necessária a predefinição de uma função de produção.

Ao mesmo tempo que permite definir a fronteira de eficiência de um grupo homogêneo de DMUs, cujos vértices em um plano cartesiano são representados pelas DMUs avaliadas como eficientes, a aplicação do DEA possibilita a comparação entre os insumos utilizados e produtos obtidos por cada uma destas unidades (JUBRAN, 2006). Essa comparação, de acordo com Vieira *et al.* (2014), permite a fundamentação de planos de ação aplicados às DMUs ineficientes.

As subseções a seguir apresentam os principais modelos do DEA, a possibilidade de orientação do método para insumos ou produtos, a definição de alvos e *benchmarks*, e uma comparação complementar com o MCDA e o SFA.

2.3.3.1 Modelos do DEA

O método DEA foi proposto inicialmente por Charnes, Copper e Rhodes (1978), a partir do qual foram desenvolvidos diferentes modelos. Este modelo original, conhecido como DEA-CCR (acrônimo com os nomes dos pesquisadores Charnes, Cooper e Rhodes), ou DEA-CRS, é representado por uma fronteira linear e parte do princípio que as variações nos insumos implicam em variações proporcionais nos produtos. Na sequência deste documento, será utilizada a sigla DEA-CCR quando a referência for o modelo clássico proposto por Charnes, Copper e Rhodes (1978), enquanto que a sigla CRS será utilizada para referenciar retornos constantes de escala em si, ou para quando se utilizam retornos constantes de escala em modelos alternativos ao DEA-CCR, como o IDEA-CRS.

Outro modelo aplicado com frequência em estudos relacionados à avaliação da eficiência no setor portuário é o DEA-BCC (Banker, Charnes e Cooper), desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), também conhecido como VRS (do inglês – *Variable Return to Scale*). Esse modelo admite que as variações nos insumos incorrem em retornos variáveis nos produtos, conforme o nome sugere, podendo ser crescentes, constantes ou decrescentes. Da mesma forma como indicado no parágrafo anterior, será utilizada a sigla BCC quando a referência for o modelo clássico proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984), enquanto que a sigla VRS será

utilizada para mencionar retornos variáveis de escala em si, ou a sua utilização de em modelos alternativos.

Conforme indicam Mello *et al.* (2005), o DEA-BCC permite que DMUs que operam com valores de insumos reduzidos tenham retorno crescente de escala, e DMUs que operam com altos valores de insumos tenham retorno decrescente. Esse modelo tende a avaliar mais DMUs como eficientes, em comparação com o DEA-CCR, e destina-se a compensar a existência de competição imperfeita relacionada à disponibilidade de insumos e mitigar a heterogeneidade do conjunto de unidades avaliadas.

Ambos os modelos supracitados, DEA-CCR e DEA-BCC, preveem a utilização de variáveis exclusivamente quantitativas para a estimativa das eficiências relativas. No entanto, conforme explicam Shen *et al.* (2011), em muitos casos as variáveis de natureza quantitativa são inadequadas para a modelagem de situações reais, sendo necessário levar-se em consideração a presença de elementos qualitativos, de modo que os modelos básicos do DEA não são capazes de prover uma solução satisfatória.

Para essa finalidade, Cooper, Park e Yu (1999) desenvolveram um modelo alternativo, o IDEA. Algumas publicações, como Zhu (2003) e Chen e Zhu (2007), discutem diferentes maneiras para a construção deste modelo e para o tratamento dos dados imprecisos, com foco em intervalos de dados e dados ordinais. Os principais conceitos aplicados a essa pesquisa para a construção do modelo IDEA, no entanto, são baseados em Cook e Zhu (2006) e Cook (2011) e são apresentados na sequência da revisão bibliográfica. Já as diferenças entre a modelagem do DEA-CCR, DEA-BCC e IDEA são apresentadas na seção 2.3.3.3.

O modelo IDEA permite a utilização de variáveis qualitativas, usualmente em uma escala hierárquica ordinal ou em uma escala de julgamento subjetivo, como a escala *Likert*, tratando-as de maneira distinta das variáveis quantitativas. Este tratamento distinto é necessário, uma vez que não se pode assumir, por exemplo, que a posição 2 em uma escala *Likert* equivale ao dobro da posição 1, podendo-se apenas afirmar que a primeira é preferível ou não à segunda (SHEN *et al.*, 2011).

Não foram encontradas evidências da aplicação do IDEA para a inclusão de variáveis intangíveis no setor portuário, bem como verificam-se referências a este modelo na literatura com menor

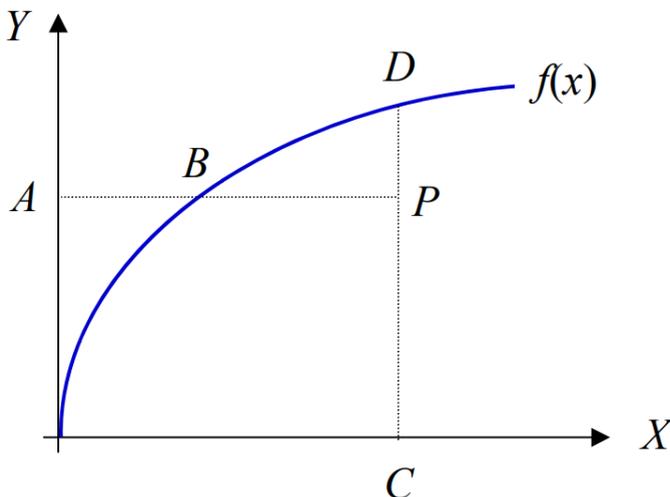
frequência em comparação com os dois citados anteriormente. Existem, no entanto, estudos em que a avaliação de eficiência é conduzida em duas etapas, aplicando-se o DEA na primeira etapa, com a utilização exclusiva de variáveis tangíveis, e métodos de análise de regressão em uma etapa posterior, como o modelo *Tobit*, identificando as relações funcionais entre determinadas variáveis contextuais e ambientais, que incluem variáveis intangíveis, e as variáveis tangíveis previamente analisadas com o DEA.

2.3.3.2 Orientação a insumos ou produtos

Os modelos do DEA ainda podem ser orientados aos insumos ou aos produtos. Enquanto que, no primeiro caso, o modelo está orientado ao atingimento da fronteira eficiente por meio da minimização dos insumos, mantidos constantes os produtos, o segundo modelo busca a maximização dos produtos dado um conjunto constante de insumos (KUTIN; NGUYEN; VALLÉE, 2017).

A Figura 7 ilustra a orientação do método DEA aos insumos (representados pelo eixo X) e produtos (representados pelo eixo Y). Conforme explicam Mello et al. (2005), a DMU ineficiente, denominada P, pode tornar-se eficiente deslocando-se até B, ou seja, reduzindo os insumos e mantendo o valor dos produtos constante (orientação aos insumos), ou deslocando-se até D, aumentando os produtos com o mesmo valor para os insumos (orientação aos produtos).

Figura 7 - Exemplo da orientação do método DEA aos insumos e aos produtos



Fonte: Mello *et al.* (2005).

O índice de eficiência de cada DMU é calculado por meio da otimização da divisão entre a soma ponderada dos insumos e a soma ponderada dos produtos. No caso do DEA-CCR orientado aos produtos, o índice de eficiência da DMU observada (DMU_o) é obtido pela aplicação da seguinte programação fracionária, composta por uma função objetivo e um conjunto de restrições (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011; MELLO *et al.*, 2005).

$$\text{Min } h_o = \left(\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}} \right) \quad (1.1)$$

sujeito a:

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}} \geq 1, \quad \forall k \quad (1.2)$$

$$v_i, u_r \geq 0, \quad \forall i, r \quad (1.3)$$

Onde:

- $h_o = (1/Eff_o)$ da DMU_o em análise;
- Eff_o = eficiência da DMU_o em análise;

- x_{ik} = insumos $i, i = 1, \dots, m$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- y_{rk} = produtos $r, r = 1, \dots, s$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- v_i = pesos dos insumos $i, i = 1, \dots, m$;
- u_r = pesos dos produtos $r, r = 1, \dots, s$.

Nesta programação, a função objetivo (1.1) busca identificar o menor valor para a divisão entre a soma ponderada dos insumos e a soma ponderada dos produtos, relação que representa o inverso do índice de eficiência. Para tanto, são definidas as restrições (1.2) e (1.3), que indicam que o valor obtido deve ser maior ou igual a 1, e que os pesos atribuídos para os insumos (v_i) e os pesos atribuídos para os produtos (u_r) devem ser maiores ou iguais a 0.

Para a linearização do modelo, é necessário que o denominador da função objetivo seja igual a uma constante, normalmente igual à unidade (MELLO *et al.*, 2005). Portanto, o modelo DEA-CCR, orientado aos produtos, pode ser representado pela seguinte programação linear, denominada modelo dos multiplicadores (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011; MELLO *et al.*, 2005).

$$\text{Min } h_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad (2.1)$$

sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1, \forall k \quad (2.2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1, \forall k \quad (2.3)$$

$$v_i, u_r \geq 0, \forall i, r \quad (2.4)$$

Onde:

- $h_o = (1/Eff_o)$ da DMU_o em análise;
- Eff_o = eficiência da DMU_o em análise;
- x_{ik} = insumos $i, i = 1, \dots, m$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- y_{rk} = produtos $r, r = 1, \dots, s$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- v_i = pesos dos insumos $i, i = 1, \dots, m$;
- u_r = pesos dos produtos $r, r = 1, \dots, s$.

Núñez-Sánchez e Coto-Millán (2012), embora não utilizem o método DEA, mas uma função translog multiproduto, pontuam que a escolha por um modelo orientado aos insumos justifica-se pelo fato dos terminais normalmente não terem controle sobre as cargas operadas nas suas instalações, e sim sobre insumos como a mão-de-obra e capital. Por outro lado, Kutin, Nguyen e Vallée (2017) adotam apenas modelos orientados aos produtos, uma vez que, de acordo com os autores, o principal interesse dos terminais consiste em analisar como podem aumentar a movimentação de contêineres, ao invés de reduzir seus insumos.

Além disso, Kutin, Nguyen e Vallée (2017) salientam que a redução de insumos, como a profundidade dos berços, o número de berços e o tamanho do pátio de contêineres, representa um alto custo para o terminal, sendo inviável fazer proposições neste sentido. Wanke e Barros (2016) corroboram com este ponto de vista, indicando que apesar da escolha do modelo não ser consensual, os tomadores de decisão, no contexto portuário, tendem a buscar a maximização dos produtos, tendo em vista que os insumos são supostamente fixos em curto prazo.

No entanto, o potencial de crescimento de um produto que tenha vinculação à demanda deve ser interpretado com cuidado, conforme orientam Odeck e Alkadi (2001), uma vez que esse cenário pode não fazer sentido caso a demanda seja limitada. Utilizando-se um produto como a movimentação de contêineres em TEUs, portanto, é necessário levar em consideração a demanda pela movimentação de contêineres para as DMUs selecionadas. Um indicativo para tanto é a projeção exposta no PNL, que prevê o crescimento da demanda de contêineres em todas as regiões do país (BRASIL, 2017b).

2.3.3.3 Alvo e *benchmarks*

A partir da definição do modelo do DEA e de sua orientação para insumos ou produtos, é possível calcular a eficiência relativa para cada DMU, conforme demonstrado no modelo dos multiplicadores e, para as ineficientes, também é possível definir o alvo e as suas unidades referência (*benchmarks*). Para tanto, aplica-se o modelo do envelope, também conhecido como modelo padrão, dual do modelo dos multiplicadores.

Explica-se que todo o problema de programação linear primal traz consigo um segundo problema, chamado dual, que, de acordo com o teorema da dualidade forte, apresentará o mesmo resultado ótimo para a função objetivo (ANDRADE, 2009; GUERREIRO; 2006). O modelo do envelope para o DEA-CCR com orientação aos produtos é representado a seguir (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011; MELLO *et al.*, 2005).

$$\text{Max } h_o \quad (3.1)$$

sujeito a:

$$x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i \quad (3.2)$$

$$-h_o y_{ro} + \sum_{k=1}^n y_{rk} \lambda_k \geq 0, \forall r \quad (3.3)$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad (3.4)$$

Onde:

- $h_o = (1/Eff_o)$ da DMU_o em análise;
- Eff_o = eficiência da DMU_o em análise;
- x_{ik} = insumos $i, i = 1, \dots, m$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- y_{rk} = produtos $r, r = 1, \dots, s$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- λ_k = contribuição da DMU_k na formação do alvo da DMU_o .

A função linear (3.1) indica que deve ser identificado o maior valor para h_o , respeitadas as restrições listadas na sequência. O alvo da DMU_o é determinado pela multiplicação entre o valor do seu produto por h_o , enquanto que os *benchmarks* desta DMU são determinados pelo valor de λ_k , que é obtido no processo de maximização de h_o e pode variar de 0 a 1, sendo que o valor 1 indica que a DMU_k é a única referência para que a DMU_o se torne eficiente, 0 indica que a DMU_k não possui nenhuma relação de referência em relação à DMU_o , e valores intermediários indicam que existe uma relação parcial de referência.

A restrição (3.2) determina que o somatório da multiplicação do insumo i de cada DMU, pelo seu respectivo λ , deve ser menor ou igual ao insumo i da DMU_o , em análise. E a restrição (3.3) indica que o somatório da multiplicação do produto r de cada DMU, pelos seus

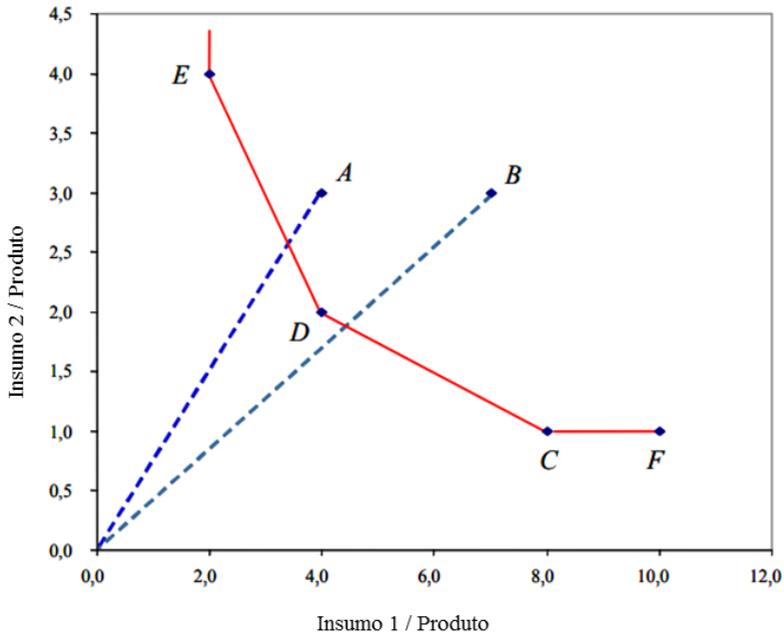
respectivos λ , deve ser maior ou igual ao produto r da DMU_o , multiplicado pelo fator h_o , sendo que, conforme indicado anteriormente, o resultado desta multiplicação representa o valor alvo do produto para que a DMU_o seja eficiente. Ou seja, as restrições (3.2) e (3.3) induzem que se encontre o maior multiplicador possível para os produtos da DMU_o , mantidos ou reduzidos seus insumos.

Por fim, a restrição (3.4) indica que a contribuição de cada DMU para a formação do alvo da DMU_o deve ser igual ou maior que zero. Quanto maior for o valor de λ_k , conforme citado anteriormente, maior será a importância da DMU_k , como referência, para a DMU em análise. Portanto, a partir do modelo do envelope é possível identificar os *benchmarks* para cada DMU ineficiente, enquanto que o modelo dos multiplicadores possibilita que se identifique os retornos de escala do sistema.

Cabe ressaltar que, no modelo do envelope para o DEA-BCC, inclui-se uma quinta restrição que determina que $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$. Esta restrição introduz, no modelo dos multiplicadores, uma variável adicional v_* , que torna possível a avaliação acerca da variação do retorno de escala no sistema analisado.

A Figura 8 ilustra geometricamente como ocorre a identificação do alvo em um exemplo hipotético, utilizando-se o modelo CCR com orientação para insumos, e considerando que os pontos A, B, C, D, E e F representam as DMUs, sendo as duas primeiras ineficientes. O eixo horizontal do gráfico representa a divisão do primeiro insumo pelo produto, o vertical representa a divisão do segundo insumo pelo produto, e as retas que ligam as DMUs A e B à origem permitem que se encontre os seus alvos.

Figura 8 - Exemplo de alvos e *benchmarks* para as DMUs ineficientes



Fonte: Adaptado de Mello *et al.* (2005).

No caso da unidade A, por exemplo, o alvo encontra-se no segmento de reta entre as unidades E e D, de modo que estas são os seus *benchmarks*. O fato do alvo ser mais próximo da unidade D, implica que esta DMU é uma referência mais importante para a unidade A, e infere-se que $\lambda_D > \lambda_E$ para a DMU_A (MELLO *et al.*, 2005).

No entanto, conforme indicado anteriormente, para a aplicação do modelo IDEA é necessário tratar os dados intangíveis de forma diferente dos tangíveis. De acordo com Despotis e Smirlis (2001), o modelo exige a atribuição de valores auxiliares para cada combinação de variáveis ordinais e suas posições na escala adotada, através dos quais são associados pesos que representam a discriminação entre valores consecutivos.

Sendo assim, a função objetivo linear e o conjunto de restrições para o modelo do envelope do IDEA, adaptados de Cook (2011) e Cook e Zhu (2006), considerando retornos constantes de escala e orientação para produtos, é expressa a seguir:

$$\text{Max } h_o \quad (4.1)$$

sujeito a:

$$x_{io}^1 - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik}^1 \geq 0, \quad i \in i_1 \quad (4.2)$$

$$-h_o y_{ro}^1 + \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{rk}^1 \geq 0, \quad r \in r_1 \quad (4.3)$$

$$x_{io}^2 - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik}^2 \geq 0, \quad i \in i_2 \quad (4.4)$$

$$-h_o y_{ro}^2 + \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{rk}^2 \geq 0, \quad r \in r_2 \quad (4.5)$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad \forall k \quad (4.6)$$

Onde:

- $h_o = (1/Eff_o)$ da DMU_o em análise;
- Eff_o = eficiência da DMU_o em análise;
- x_{ik}^1 = insumos tangíveis $i_1, i_1 = 1, \dots, m_1$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- x_{ik}^2 = insumos intangíveis $i_2, i_2 = 1, \dots, m_2$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- $x_{ik}^2 = \sum_{\ell=1}^{L_1} x_i^2(\ell) \delta_{ik}(\ell)$, $\ell = 1, \dots, L_1$, $\delta_{ik}(\ell) = 1$ se a DMU_k possui a posição ℓ para o insumo i_2 , caso contrário $\delta_{ik}(\ell) = 0$;
- L = número de posições (ℓ) na escala definida para cada insumo intangível ($x_i^2, \ell = 1, \dots, L_1$) e produto intangível ($y_r^2, \ell = 1, \dots, L_2$).
- y_{rk}^1 = produtos tangíveis $r_1, r_1 = 1, \dots, s_1$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- y_{rk}^2 = produtos intangíveis $r_2, r_2 = 1, \dots, s_2$, da $DMU_k, k = 1, \dots, n$;
- $y_{rk}^2 = \sum_{\ell=1}^{L_2} y_r^2(\ell) \gamma_{rk}(\ell)$, $\ell = 1, \dots, L_2$, $\gamma_{rk}(\ell) = 1$ se a DMU_k possui a posição ℓ para o produto r_2 , caso contrário $\gamma_{rk}(\ell) = 0$;
- λ_k = contribuição da DMU_k na formação do alvo da DMU_o .

Neste modelo, a função objetivo linear (4.1) é idêntica à (3.1), bem como a restrição (4.6) é idêntica à (3.4). Já as restrições (4.2) e (4.3) são análogas às restrições (3.2) e (3.3), considerando apenas os insumos e produtos tangíveis.

A grande diferença entre os modelos apresentados, DEA-CCR orientado a produtos e IDEA-CRS orientado a produtos, é o

acréscimo das restrições (4.4) e (4.5), que são análogas às restrições (4.2) e (4.3), porém se referem aos insumos intangíveis (x_{ik}^2) e produtos intangíveis (y_{rk}^2), respectivamente. Estas duas restrições levam em consideração o valor designado, conforme a posição ℓ onde se encontram em suas escalas, para cada x_{ik}^2 e y_{rk}^2 . Estes valores são determinados pelas fórmulas previamente apresentadas: $\sum_{\ell=1}^{L_1} x_i^2(\ell)\delta_{ik}(\ell)$ e $\sum_{\ell=1}^{L_2} y_r^2(\ell)\gamma_{rk}(\ell)$.

Para a utilização do IDEA, é preciso que se respeite a seguinte regra básica: para os produtos, considera-se a posição ℓ favorável à posição $\ell + 1$; enquanto que para os insumos, $\ell + 1$ é favorável a ℓ ; levando-se em consideração que uma DMU tende a ser mais eficiente conforme o valor de seus produtos cresce e/ou o dos insumos se reduz (COOK, 2011).

2.3.3.4 Comparação com outros métodos

De acordo com Tongzon (2001), as características do DEA e a possibilidade proporcionada pelo método de analisar-se diversos insumos e produtos simultaneamente, de modo comparativo, estimando-se índices de eficiência relativa, tornam-no particularmente adequado à análise do setor portuário. Ainda que não seja necessário o desenvolvimento de diversos padrões para a aplicação do DEA, conforme indicado anteriormente, estes podem ser incorporados à análise através de modelos alternativos.

O fato dos insumos e produtos utilizados no modelo poderem ser expressos em diferentes unidades, sem que seja necessária uma distribuição específica dos dados, também torna o método conveniente sob o ponto de vista prático, e elimina a sensibilidade dos resultados obtidos (SHEN *et al.*, 2011). Segundo Toloo, Keshavars e Hatami-Marbini (2018), a ideia principal do DEA é possibilitar que os dados representem a si mesmos, sem a especificação arbitrária de uma forma funcional. Consequentemente, o sucesso da implementação do modelo depende da qualidade e quantidade dos dados.

Nesse método, de acordo com Shen et al. (2011), cada DMU recebe uma ponderação própria para os seus indicadores, de modo que a análise sobre sua eficiência relativa está pautada no ponto de vista mais favorável de cada uma delas. Sendo assim, evita-se que se coloque em questão a pertinência da ponderação das variáveis, uma

vez que qualquer outro esquema de ponderações, como no MCDA, poderia incorrer em uma combinação de pontos inferior.

Conforme citado na seção 2.3.1, relacionada ao método MCDA, uma das desvantagens do DEA é a limitação do número de variáveis a serem utilizadas no modelo. Essa limitação, segundo Cooper *et al.* (2001), ocorre pelo fato de que os graus de liberdade no DEA crescem com o número de DMUs e decrescem com o número de insumos e produtos. Deste modo, Cooper, Seiford e Kaoru (2007) indicam que o número de DMUs analisadas deve satisfazer a seguinte condição, para que o modelo não incorra em um número excessivo de unidades classificadas como eficientes:

$$n \geq \text{máx}\{m \times s, 3 \times (m + s)\} \quad (5)$$

Onde:

- n = número de DMUs;
- m = número de insumos;
- s = número de produtos.

Uma alternativa para superar um possível problema relacionado à quantidade de unidades observadas em situações onde há limitação em relação à quantidade de DMUs, que é o caso deste estudo, sem preterir variáveis relevantes para a análise, é utilizar técnicas de análise fatorial e redução de dados. A análise fatorial é definida como:

Classe de métodos estatísticos multivariados cujo propósito principal é definir a estrutura subjacente em uma matriz de dados. Em termos gerais, a análise fatorial aborda o problema de analisar a estrutura das inter-relações (correlações) entre um grande número de variáveis (por exemplo, escores de testes, itens de testes, respostas de questionários), definindo um conjunto de dimensões latentes comuns, chamados fatores (COSTA, 2006, p. 22).

Wanke e Barros (2016) utilizam em seu estudo a Análise de Componentes Principais (ACP) como metodologia para a análise fatorial, de modo que os sete insumos selecionados pelos autores são

reduzidos a três componentes, sendo eles: i) índice de infraestrutura portuária, que engloba o comprimento de cais, número de berços, área de armazém e área de pátio; ii) índice de profundidade, que engloba a profundidade do cais e a profundidade do canal de acesso; e iii) índice de largura do acesso, que compreende a largura do canal de acesso.

A ACP, conforme indicam Adler e Golany (2001), proporciona a redução das variáveis em componentes que normalmente representam de 80% a 90% da variância dos dados. Sendo assim, esses componentes podem substituir as variáveis originais sem perda significativa de informação.

Sendo assim, uma das principais críticas direcionadas ao método DEA, referente à relação entre o número de variáveis e o número de DMUs analisadas, conforme indicado nas seções anteriores, pode ter sua relevância reduzida. Além disso, existem uma série de vantagens do DEA em relação a outros métodos, especialmente ao SFA, que reforçam a adequação da sua adoção para este estudo, sejam elas: identificação da ineficiência a partir da comparação com unidades similares em análise, consideradas eficientes; estabelecimento de *insights* quantitativos relacionados a ajustes necessários para que uma unidade ineficiente se torne eficiente; receptividade a estudos com reduzidas unidades analisadas; facilidade para a interpretação do *score* de eficiência, que varia de 0 a 1; flexibilidade para a seleção de insumos e produtos; e possibilidade do tratamento das variáveis em categorias diferentes, como é feito no caso do IDEA (BANKER; MOREY, 1986; JARBOUI; FORGET; BOUJELBENE, 2012).

2.4 VARIÁVEIS TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS

Os insumos e os produtos utilizados em análises de eficiência podem ter natureza qualitativa ou quantitativa. Pelo fato de serem manipuladas e inseridas em modelos com maior facilidade, as variáveis quantitativas são utilizadas com maior frequência do que as qualitativas, havendo poucas referências na literatura acerca da utilização de variáveis qualitativas entre os insumos e produtos do DEA.

Em relação aos produtos, verifica-se que, no contexto de terminais de contêineres, a movimentação anual, medida em TEUs, é inquestionavelmente a variável mais importante e adotada com maior frequência (CULLINANE; WANG, 2007b; LU; PARK; HUO,

2015; MUNISAMY; JUN, 2013). Isso ocorre, conforme explicam Cullinane e Wang (2007b), pelo fato de esta variável relacionar-se diretamente com a necessidade por instalações e serviços dedicados à operação de contêineres, além de ser a principal base de comparação entre terminais, especialmente quando se analisa seu tamanho, magnitude de investimentos ou seu volume de atividades.

Além disso, Cullinane e Wang (2007b) afirmam que a movimentação anual representa a base para a geração de receitas de um terminal de contêineres. A predominância da utilização desta variável como produto do modelo é evidenciada nas pesquisas de González e Trujillo (2009) e Kutin, Nguyen e Vallée (2017), que compilam os modelos, unidades analisadas, insumos e produtos utilizados por diferentes publicações no contexto portuário; bem como pelo presente estudo, conforme apresentado na sequência desta seção.

Já em relação aos insumos, verifica-se a utilização de uma quantidade significativa de variáveis diferentes. Lu, Park e Huo (2015) acreditam que a os terminais de contêineres dependem crucialmente do uso eficiente de sua infraestrutura e instalações, de modo que insumos como: área de pátio por berço, número de portêineres, número de transtêineres, guindastes por berço e comprimento dos berços; são os mais indicados para a análise da eficiência relativa.

González e Trujillo (2009) classificam os insumos utilizados na análise de eficiência portuária em: insumos de capital, que podem ser subdivididos em insumos de infraestrutura e equipamentos; e insumos de mão-de-obra. No entanto, os autores citam que muitas vezes os insumos de mão-de-obra não são levados em consideração, como pode-se observar em Lu, Park e Huo (2015), sob o argumento de que há uma relação fixa entre o número de equipamentos e trabalhadores nos terminais, além da dificuldade na obtenção de dados acerca do quadro de funcionários das unidades analisadas.

Os insumos de mão-de-obra, tanto quando representados pelo número de funcionários quanto quando representados pelo número de equipamentos, não costumam levar em consideração a sua qualificação, mas apenas sua quantidade. No entanto, em um estudo que avalia insumos intangíveis que impactam na qualidade de serviços portuários, através do MCDA, Pak, Thai e Yeo (2015) listam uma série de aspectos relacionados à mão-de-obra, indicando

uma relação direta entre a sua qualificação e a produtividade e qualidade dos serviços prestados.

Outros aspectos intangíveis citados por Pak, Thai e Yeo (2015) como importantes elementos para a qualidade do serviço portuário são a utilização de *softwares* de gestão das operações e administrativos, e a existência de canais de relacionamento com o cliente. Embora este estudo não tenha como objetivo mensurar a qualidade dos serviços prestados pelos terminais, este fator, conforme aponta Tongzon (2009), é relevante para a escolha do porto por parte dos usuários, e conseqüentemente para a demanda dos terminais.

Ainda em relação à utilização de equipamentos, Lu, Park e Huo (2015) listam a quantidade de horas operantes dos portêineres e a manutenção dos equipamentos como insumos relevantes para a aferição da eficiência. No entanto, os autores reforçam a necessidade de se considerar a disponibilidade de dados para a seleção de variáveis, o que normalmente não é o caso destas últimas citadas.

A partir de uma revisão sistemática, descrita na seção da metodologia, o presente estudo identificou e analisou 47 publicações científicas que aplicam o método DEA para a avaliação de eficiência no setor portuário. Os modelos, insumos e produtos utilizados pelos pesquisadores foram compilados e são apresentados no Quadro 2, ordenados pela data de publicação, podendo-se observar que nenhum deles utiliza variáveis intangíveis na análise.

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continua)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|------------------------------|-------------------------------|--|---|
| Tongzon (2001) | DEA-CCR e <i>Additive</i> DEA | Equipamentos; Número de berços; Rebocadores; Área do terminal; Tempo de espera das embarcações; Funcionários | Movimentação anual (TEUs); Atracações; Produtividade por navio (un./h); Produtividade por guindaste (un./h) |
| Bonilla <i>et al.</i> (2002) | <i>Bootstrap</i> DEA-VRS | Equipamentos | Movimentação anual (t) |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continuação)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|--|--|--|--|
| Barros (2003) | <i>Malmquist</i> DEA-CRS | Funcionários; Patrimônio | Atracções; Carga movimentada; Arqueação bruta dos navios; Carga geral movimentada; Contêineres movimentados; Granéis sólidos movimentados; Granéis líquidos movimentados |
| Cullinane, Ji e Wang (2005a); Cullinane <i>et al.</i> (2006); Cullinane e Wang (2007a) | DEA-CCR e DEA-BCC | Comprimento acostável; Área do terminal; Equipamentos de cais; Número de transtêineres; Número de <i>straddle carriers</i> | Movimentação anual (TEUs) |
| Lin e Tseng (2007) | DEA-CCR, DEA-BCC, A&P-DEA, SCE-DEA e D&G-DEA | Área do terminal; Equipamentos de cais; Comprimento acostável; Número de píeres | Atracções; Movimentação anual (TEUs) |
| Cheon (2009) | TDEA | Comprimento acostável; Área do terminal; Capacidade dos guindastes; Índice do tamanho da hinterlândia | Movimentação anual (TEUs) |
| Hung, Lu e Wang (2009) | <i>Bootstrap</i> DEA-CRS e DEA-VRS | Área do terminal; Equipamentos de cais; Número de berços; Comprimento acostável | Movimentação anual (TEUs) |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continuação)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|-------------------------------------|--|--|---|
| Jiang e Li (2009) | DEA-BCC | Valor das importações e exportações em USD; PIB da região; Comprimento acostável; Equipamentos de cais | Movimentação anual (TEUs) |
| Sharma e Yu (2009) | SOM DEA-CRS | Comprimento acostável; Área do terminal; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio | Movimentação anual (TEUs) |
| Ablanedo-Rosas <i>et al.</i> (2010) | DEA-VRS baseado em índices financeiros | Nenhum insumo utilizado | Resultado líquido sobre o patrimônio; Receita sobre ativos; Vendas líquidas sobre recebíveis; Custo de produtos vendidos sobre inventário; Ativos sobre passivos; Disponibilidades sobre passivos |
| Gao, LV e Liu (2010) | DEA-CCR | Equipamentos de cais; Número de berços; Área de pátio; Linhas de navegação nacionais; Linhas de navegação internacionais | Movimentação nacional anual (TEUs); Movimentação internacional anual (TEUs) |
| Khin e Yang (2010) | DEA-CCR | Número de berços; Comprimento acostável; Comprimento das estruturas de acostagem construídas; Área de pátio; Área coberta; Equipamentos; Gastos totais | Atracações; Movimentação anual (t); Receitas |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continuação)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| Lozano, Villa e Canca (2010) | DEA-BCC e <i>Centralized</i> DEA-VRS | Área do terminal; Comprimento acostável; Equipamentos de cais; Rebocadores | Movimentação anual (t); Movimentação anual (TEUs); Atracações |
| Sharma e Yu (2010) | DT DEA-CRS | Comprimento acostável; Área do terminal; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio | Movimentação anual (TEUs) |
| Wu e Goh (2010) | DEA-CCR, DEA-BCC, A&P-DEA e SCE-DEA | Área do terminal; Comprimento acostável; Equipamentos | Movimentação anual (TEUs) |
| Yip, Sun e Liu (2011) | DEA-CCR | Capacidade dos equipamentos de cais; Capacidade dos equipamentos de pátio; Número de berços; Comprimento acostável; Área do terminal; Capacidade de armazenagem; Número de tomadas <i>reefer</i> | Movimentação anual (TEUs) |
| Bichou (2012) | DEA-CCR e DEA-BCC | Área do terminal; Calado máximo; Comprimento acostável; Índice dos equipamentos de cais e suas capacidades; Índice dos equipamentos de pátio e posições no pátio; Caminhões e veículos; Número de faixas nos gates e de linhas férreas | Movimentação anual (TEUs) |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continuação)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|-------------------------------------|--|---|--|
| Jiang <i>et al.</i> (2012) | SEF e SIF DEA-VRS | Comprimento acostável; Capacidade de armazenagem | Movimentação anual (TEUs); Atracações |
| Pjevčević <i>et al.</i> (2012) | DEA-CCR | Área de armazenagem; Comprimento acostável; Equipamentos de cais | Movimentação anual (t) |
| Bergantino, Musso e Porcelli (2013) | DEA-BCC | Área do cais; Número de terminais; Área do terminal; Equipamentos | Movimentação anual (t); Movimentação anual (TEUs) |
| Li, Luan e Pian (2013) | DEA-BCC | Comprimento acostável; Equipamentos; Funcionários | Movimentação anual (TEUs) |
| Wanke (2013) | <i>Network-DEA</i> centralizado | Número de berços; Área de armazenagem; Área de pátio | Movimentação anual de granéis sólidos (t); Movimentação anual (TEUs); Atracações de navios de granel sólido; Atracações de porta-contêineres |
| Wanke (2013) | <i>Network-DEA</i> centralizado | Número de berços; Área de armazenagem; Área de pátio | Movimentação anual de granéis sólidos (t); Movimentação anual (TEUs); Atracações de navios de granel sólido; Atracações de porta-contêineres |
| Wilmsmeier, Tovar e Sanchez (2013) | <i>Malmquist</i> DEA-CRS e DEA-VRS | Área do terminal; Capacidade dos equipamentos de cais; Funcionários | Movimentação anual (TEUs) |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continuação)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| Yuen, Zhang e Cheung (2013) | DEA-CCR | Número de berços; Comprimento acostável; Área do terminal; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio | Movimentação anual (TEUs) |
| Almawsheki e Shah (2015) | DEA-CCR | Área do terminal; Comprimento acostável; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio; Calado máximo | Movimentação anual (TEUs) |
| Bray, Caggiani e Ottomanelli (2015) | <i>Fuzzy</i> DEA-CRS | Equipamentos de cais; Número de berços; Rebocadores; Área do terminal; Tempo de espera das embarcações; Funcionários | Movimentação anual (TEUs); Atracações; Produtividade por navio (un./h); Produtividade por guindaste (un./h) |
| Ding <i>et al.</i> (2015) | <i>Malmquist</i> DEA-CRS e DEA-VRS | Comprimento acostável; Equipamentos; Funcionários | Movimentação anual (TEUs) |
| Oliveira e Cariou (2015) | <i>Bootstrap</i> DEA-VRS | Comprimento acostável; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio; Área do terminal; Área de pátio | Movimentação anual (TEUs) |
| Güner (2015) | DEA-CCR e DEA-BCC | Área do terminal; Comprimento acostável; Número de berços; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio; Rebocadores; Funcionários; Gastos totais | Movimentação anual (t); Atracações |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continuação)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|------------------------------------|---|--|---|
| Kim e Lu (2015) | DEA-CCR | Patrimônio | Movimentação anual (TEUs) |
| Jang, Park e Kim (2016) | DEA-CCR, DEA-BCC e DEA-SBM | Número de berços; Comprimento acostável; Área do terminal; Equipamentos de cais | Movimentação anual (TEUs) |
| Nguyen <i>et al.</i> (2016) | DEA-CCR, DEA-BCC e <i>Bootstrap</i> DEA | Comprimento acostável; Área do terminal; Capacidade de armazenagem; Equipamentos; Tecnologias da informação e comunicação | Movimentação anual (t) |
| Suárez-Alemán <i>et al.</i> (2016) | <i>Malmquist</i> DEA-CRS e DEA-VRS | Área do terminal; Comprimento acostável; Equipamentos de cais | Movimentação anual (TEUs) |
| Zheng e Park (2016) | DEA-CCR e DEA-BCC | Comprimento acostável; Área de pátio; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio | Movimentação anual (TEUs) |
| Chang e Tovar (2017) | <i>Malmquist</i> DEA-CRS | Funcionários; Patrimônio | Movimentação anual (ACP composta por diferentes tipos de carga) |
| Elsayed e Khalil (2017) | DEA-CCR, DEA-BCC e DEA-SBM | Número de berços; Comprimento acostável; Equipamentos; Calado máximo; Funcionários; Área do terminal; Área de armazenagem; Área do porto | Movimentação anual (t); Atracações |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(continuação)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|--|----------------------------------|---|---|
| Gamassa e Chen (2017) | DEA-CCR | Área do terminal; Equipamentos de cais; Número de berços; Comprimento acostável | Movimentação anual (TEUs) |
| Jiang, Zhu e Cao (2017) | DEA-BCC e SDEA-VRS | Número de berços; Comprimento acostável; Funcionários | Movimentação anual (t); Movimentação anual (TEUs) |
| Kutin, Nguyen e Vallée (2017) | DEA-CCR e DEA-BCC | Calado máximo; Área de pátio; Comprimento do cais; Equipamentos de cais; Equipamentos de pátio | Movimentação anual (TEUs) |
| Mousavizadeh e Khalili-Damghani (2017) | DEA-ANN | Número de berços; Funcionários; Equipamentos de cais; Número de instalações de armazenagem | Movimentação anual (TEUs); Movimentação anual (t) |
| Sun <i>et al.</i> (2017) | DEA-CCR e DDF DEA-VRS não radial | Funcionários; Ativos fixos | Custos operacionais; Lucro líquido; Movimentação anual (t); Emissão de nitrato de oxigênio (NOx) |
| Wu, Liu e Guo (2017) | GDDF-DEA | Comprimento acostável; Número de berços | Movimentação anual (t); Emissão de nitrato de oxigênio (NOx); Emissão de óxido de enxofre (SOx); Descarga de resíduos sólidos de contêiner |

Quadro 2 - Compilação de publicações científicas que aplicam o DEA no setor portuário

(conclusão)

| Autores | Modelo | Insumos | Produtos |
|------------------------------|----------------------|--|--|
| Zahran <i>et al.</i> (2017) | IDEA-VRS | Número de berços; Área de armazenagem; Equipamentos | Movimentação anual (t); Atracações; Movimentação anual (TEUs) |
| Schøyen <i>et al.</i> (2018) | DEA-CCR e DEA-BCC | Área do terminal; Comprimento acostável; Equipamentos de pátio | Movimentação anual (TEUs); Avaliação do preço; Avaliação da rastreabilidade; Avaliação da pontualidade |
| Wanke, Nwaogbe e Chen (2018) | Fuzzy DEA-CRS e VRS | Funcionários; Número de berços; Área do porto; Comprimento acostável | Atracações; Movimentação anual (t); Movimentação anual de carga geral (t); Movimentação anual de granéis sólidos (t); Movimentação anual de granéis líquidos (t) |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Analisando-se o Quadro 2, é possível observar que, desde as primeiras aplicações do método DEA no setor portuário, há uma grande variabilidade de modelos utilizados para a avaliação da eficiência relativa das unidades em estudo. O artigo publicado por Zahran *et al.* (2017) é o único encontrado nesta pesquisa a utilizar o modelo IDEA para tanto.

Zahran *et al.* (2017), no entanto, não fazem uso do IDEA para incluir insumos intangíveis na análise, mas para tratar informações quantitativas de sua base de dados que carecem de precisão, tendo em vista a ausência de dados concretos ou a discrepância entre diferentes fontes, sejam elas: a movimentação anual, em toneladas; o número de atracções; e os equipamentos. Pelo mesmo motivo, Bray, Caggiani, Ottomanelli (2015) e Wanke, Nwaogbe e Chen (2018) utilizam modelos do DEA com base na teoria *fuzzy*.

Os dados expostos no Quadro 2 ratificam a predominância da utilização do volume de movimentação como produto do DEA no setor portuário. Em relação aos insumos, as variáveis encontradas com maior frequência são listadas na sequência. Ressalta-se que algumas destas variáveis sobrepõem-se parcialmente: o comprimento acostável e o número de berços; e a área do terminal e a área do pátio, e, portanto, não devem ser coexistentes em um modelo.

- Comprimento acostável;
- Área do terminal;
- Equipamentos de cais e de pátio, que são considerados de forma separada ou conjunta, em geral pela quantidade, e em alguns casos por meio de índices, havendo uma frequência maior observada para a consideração dos equipamentos de cais;
- Número de berços;
- Número de funcionários, considerando-se que em alguns casos são utilizadas informações análogas para se estimar tal variável; e
- Área de pátio, sendo que em alguns casos são consideradas informações semelhantes, como a capacidade ou número de estruturas, ou são incluídos armazéns na análise, quando esta não é exclusiva para terminais de contêineres.

O calado máximo autorizado para a atracação no cais, apesar de ser utilizado em apenas quatro destes estudos analisados, também é um insumo relevante para a análise da eficiência de terminais de contêineres. Esta dimensão pode limitar a prestação de serviço para determinadas linhas de navegação, por conta das dimensões das embarcações, ou impedir que estas operem em sua capacidade máxima de carregamento, e é um tema de recorrente discussão no contexto do planejamento portuário brasileiro. Tal insumo também é utilizado em outros estudos não incluídos na compilação supracitada, como no estudo conduzido por Mokhtar (2013), que analisa terminais de contêiner no oriente médio, além de publicações que analisam

portos brasileiros, como Pires (2016), Vieira *et al.* (2014) e Wanke e Barros (2016).

Embora em situações reais seja essencial levar em consideração a presença de dados qualitativos na análise, conforme apontam Cook e Zhu (2006), a avaliação da eficiência no setor portuário com a utilização do DEA normalmente é baseada na adoção de um conjunto de dados exclusivamente quantitativos. As únicas exceções encontradas nas publicações apresentadas no Quadro 2 são: a utilização de tecnologias da informação e comunicação (TIC) como insumo no estudo de Nguyen *et al.* (2016), embora os autores não identifiquem como esta variável é tratada nos modelos adotados; e a utilização de índices de preço, rastreabilidade e pontualidade como produtos no estudo de Schøyen *et al.* (2018), variáveis calculadas pelo Índice de Performance Logística (LPI, do inglês – *Logistics Performance Index*), que é conduzido pelo Banco Mundial por meio de avaliações que utilizam a escala *Likert*, mas são inseridas no modelo pelos autores como variáveis quantitativas.

Em alguns casos, de acordo com Cook (2011), dados qualitativos podem ser legitimamente quantificados. Com muita frequência, no entanto, essa quantificação é superficial e forçada, de acordo com a conveniência para o modelo a ser aplicado. Em tais situações, o autor indica que esses dados intangíveis são melhor representados em escala, como a *Likert*, ou por um ranking entre as DMUs, e, conforme citado anteriormente, devem ser tratados de maneira distinta dos dados tangíveis.

Cho e Kim (2015) pontuam, em relação à competitividade no ambiente de terminais de contêineres, que insumos intangíveis têm sido enfatizados em detrimento de tangíveis, uma vez que os insumos tangíveis podem ser imitados ou adquiridos por concorrentes, enquanto que para ativos intangíveis isso não se aplica. Ao analisar a competitividade de terminais de contêineres na Ásia, Yeo (2010) relaciona, a partir do modelo de regressão truncada, o volume de contêineres movimentados por estes terminais com diversos insumos tangíveis e intangíveis.

Além da utilização de insumos convencionais, relacionados ao cais, área do terminal e armazenagem, Yeo (2010) utiliza variáveis que se relacionam à existência ou não de CFS no terminal, conectividade com a hinterlândia por meio de ferrovia, linhas de navegação direta, sistema de segurança, *softwares* relacionados a sistemas de comunicação e de gestão das operações, *website* e *e-mail* para os funcionários. Destes insumos, o estudo aponta que existe uma

correlação positiva significativa apenas para a existência de CFS, de linha de navegação direta e de *website*.

A importância dos insumos intangíveis nos resultados financeiros das empresas é destacada no estudo de Bontempi e Mairesse (2015), que evidencia, para a amostra analisada em sua pesquisa, que os ganhos de produtividade relacionados a insumos intangíveis equivalem entre 1 e 4 vezes os ganhos relacionados a insumos tangíveis. De acordo com Moeller (2009), os insumos intangíveis, combinados a insumos tangíveis, como infraestrutura, equipamentos e quantidade de mão de obra, são determinantes para a criação de valor na indústria, e, conforme indicam Córdova, Duran e Galindo (2016), aperfeiçoam as tomadas de decisão, implicando na adoção de estratégias mais eficazes e eficientes.

González e Trujillo (2009) analisam que é possível incrementar a produtividade no setor portuário, e conseqüentemente a produção, ao menos de duas formas diferentes. A primeira delas é a introdução de progresso técnico, podendo ser obtido, por exemplo, através da aquisição de um novo portêiner o que também elevaria a fronteira de eficiência, por conta da introdução de um novo insumo. E a segunda forma é através do melhor uso dos ativos do terminal em questão, por meio da qualificação da mão-de-obra, por exemplo, propiciando que os colaboradores estejam mais bem preparados para manejar equipamentos sofisticados. Essa segunda opção, de acordo com os autores, incrementaria a produtividade sem a adição de insumos, aproximando o terminal da fronteira de eficiência.

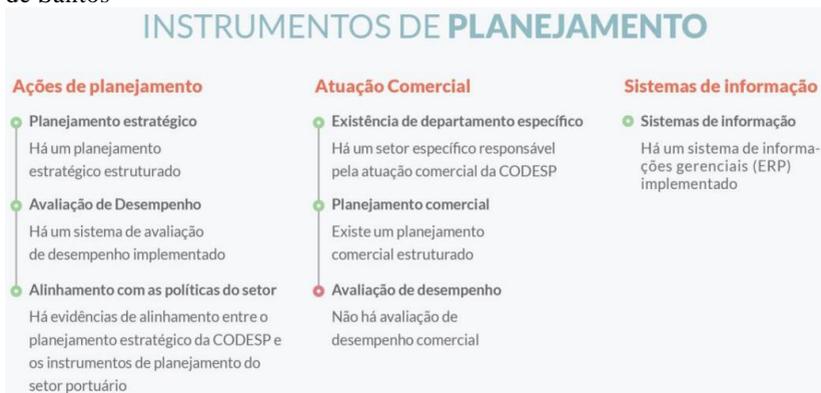
Nota-se nesse exemplo o impacto causado por um aspecto intangível na produtividade e eficiência de um terminal. No entanto, este é uma análise pontual, de modo que, havendo uma grande quantidade de fatores envolvidos em uma avaliação de eficiência, sejam eles DMUs, insumos e produtos, tornar-se-ia dificultoso relacionar uma alta ou baixa eficiência a um fator como a qualificação dos funcionários, a menos que este fator estivesse envolvido na análise. Além disso, espera-se que, investindo recursos em treinamento, sejam obtidos melhores resultados, de forma que, caso isso não ocorra, há ineficiência.

As variáveis intangíveis no ambiente portuário, de acordo com Córdova, Duran e Galindo (2016), são relacionadas principalmente à geração de conhecimento, e se dividem em três grupos: capital intelectual, capital organizacional e capital de relacionamento.

Conforme definição dos autores, o capital intelectual se relaciona principalmente à educação, treinamento e motivação dos colaboradores, enquanto que o capital organizacional se refere às ações relacionadas à entrega de serviços e produtos de qualidade, tendo em vista a cadeia logística como um todo, e passa por investimentos em melhorias em sistemas e processos. Já o capital de relacionamento pode ser dividido em capital comercial e de comunicação, sendo que o primeiro se refere à relação com cliente e fornecedores, e seu nível de satisfação, e o segundo se refere à promoção da imagem da empresa junto ao mercado, especialmente através de ações de *marketing*.

No Relatório de Metodologia do Plano Mestre, documento que detalha o escopo e métodos utilizados para a elaboração desse instrumento de planejamento para cada porto público brasileiro, é citado um “*checklist* que contém itens que caracterizam uma configuração ‘ideal’ de ações de planejamento, atuação comercial e sistemas de informação” (BRASIL, 2018, p. 170). Um exemplo destes itens, referente ao Plano Mestre do Complexo Portuário de Santos, é ilustrado no infográfico da Figura 9.

Figura 9 - *Checklist* de instrumentos de planejamento utilizados pelo Porto de Santos



Fonte: Brasil (2019).

Estes instrumentos de planejamento relacionam-se às autoridades portuárias e são analisados de forma qualitativa nos planos mestres. No entanto, podem servir como base para um conjunto de insumos intangíveis a serem utilizados na avaliação de eficiência dos terminais, identificando-se, por exemplo, a existência

de planejamento estratégico, planejamento comercial e a utilização de *softwares* para o gerenciamento de operações.

Entende-se por planejamento estratégico o desenvolvimento sistemático de programas de ação destinados a alcançar as metas e objetivos de negócio estabelecidos, por meio da organização e alocação de recursos de uma instituição (CERTO; PETER, 2005; MINTZBERG *et al.*, 2007). Para a sua elaboração, Sertek, Guindani e Martins (2007) propõem quatro passos: diagnóstico, planejamento, implementação e controle.

Já a gestão das operações é representada pela concepção, execução e busca por melhorias de sistemas que criam e entregam os produtos e serviços primários de uma organização (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006). Além da capacitação da mão-de-obra e utilização de *software* de gestão, aspectos citados anteriormente, Stevanov *et al.* (2016) mencionam que o processo de manutenção dos equipamentos portuários influencia diretamente na eficiência operacional.

Conforme indicam Fitzsimmons e Fitzsimmons (1997), a utilização do DEA de forma repetida pode estabelecer um clima de aprendizagem organizacional que impulsiona o desenvolvimento de estratégias competitivas. Os autores acrescentam que a comparação de práticas operacionais e compartilhamento de mecanismos de gestão podem auxiliar unidades ineficientes a identificar áreas com potencial de melhoria, e instrumentos para tanto.

A fim de analisar os recursos responsáveis pelo estabelecimento de vantagem competitiva no setor aeroviário, Pearson, Pitfield e Ryley (2015) elencam 36 variáveis intangíveis, avaliadas por meio de questionário conduzido junto à gerência estratégica de companhias aéreas asiáticas, com base nas seguintes características não excludentes: variável valiosa, rara, não imitável e insubstituível; as quais, em inglês, formam o acrônimo VRIN, que dá nome à técnica utilizada pelos pesquisadores. As 36 variáveis são listadas na Tabela 2, por ordem de classificação, de acordo com o estudo, sendo que variáveis avaliadas como essenciais pelos pesquisadores são: disponibilidade de assentos, *branding* e reputação dos produtos ou serviços.

Tabela 2 - Variáveis intangíveis responsáveis pela vantagem competitiva no setor aeroviário

(continua)

| Classificação | Variável | Classificação | Variável |
|----------------------|---|----------------------|----------------------------|
| 1 | Disponibilidade de passageiros | 19 | Confiabilidade |
| 2 | <i>Branding</i> | 20 | Cultura organizacional |
| 3 | Reputação dos produtos e serviços | 21 | <i>Know-how</i> |
| 4 | Competência administrativa | 22 | Capacidades empreendedoras |
| 5 | Planejamento estratégico | 23 | Comunicação organizacional |
| 6 | Marketing | 24 | Foco no cliente |
| 7 | Acordos bilaterais de tráfego aéreo | 25 | Parcerias estratégicas |
| 8 | Habilidade para a captação de recursos | 26 | Pesquisa e desenvolvimento |
| 9 | Relacionamento com os governos local e nacional | 27 | Conhecimento legal |
| 10 | Habilidade para a aprendizagem | 28 | Liderança estável |
| 11 | Experiência e qualificação dos funcionários | 29 | Locação de aeronaves |

Tabela 2 - Variáveis intangíveis responsáveis pela vantagem competitiva no setor aeroviário

(conclusão)

| Classificação | Variável | Classificação | Variável |
|----------------------|--|----------------------|---|
| 12 | Ambiente de negócios | 30 | Sistemas de informação |
| 13 | Trabalho em equipe | 31 | Propriedade intelectual |
| 14 | Sistema de distribuição | 32 | Princípios da gestão e governança corporativa |
| 15 | Padrões de qualidade / profissionalismo | 33 | Organização |
| 16 | Estabilidade financeira | 34 | Contratos com fornecedores |
| 17 | Capacidade de tomada de decisão | 35 | Expertise técnica |
| 18 | Relacionamento com colaboradores, fornecedores, etc. | 36 | Programas de treinamento |

Fonte: Adaptado de Pearson, Pitfield e Ryley (2015).

Em algumas das publicações expostas anteriormente, no Quadro 2, os autores conduzem etapas subsequentes à solução do DEA, destinadas à análise da relação entre as eficiências calculadas e outras variáveis contextuais ou ambientais, sendo que em alguns casos essas variáveis são intangíveis. Essas publicações são apresentadas no Quadro 3, que identifica os autores, técnicas utilizadas para as análises subsequentes à solução do DEA, e as variáveis adotadas para tanto.

Quadro 3 - Análise da aplicação de etapas subsequentes ao DEA em pesquisas sobre a avaliação da eficiência no setor portuário

(continua)

| Autor | Descrição das etapas subsequentes ao DEA |
|-------------------------------------|---|
| Sharma e Yu (2010) | O DEA é aplicado em um contexto de árvore de decisão (DT, do inglês – <i>Decision Tree</i>), que incorpora conceitos de atratividade e necessidade de progresso dos portos analisados, em comparação aos seus competidores. Para tanto, os autores estratificam as DMUs por meio de aplicações consecutivas do DEA-CRS, e posteriormente avaliam a atratividade e necessidade de progresso para cada um desses grupos. |
| Yip, Sun e Liu (2011) | Na segunda etapa, relacionam diversas variáveis tangíveis e intangíveis ao índice de eficiência com a utilização do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Tais variáveis são: características do porto (utilização de EDI, profundidade, número de linhas de navegação, número de operadores e número de terminais), tipologia dos operadores, características dos países onde se encontram (PIB, importações e exportações) e continente onde se encontram. |
| Bichou (2012) | Por meio da aplicação de uma análise de sensibilidade em etapa posterior à solução do DEA, o autor analisa o impacto das seguintes características dos terminais de contêiner em sua eficiência operacional: porte, percentual de transbordo, variações nas características dos contêineres movimentados, configuração do pátio, procedimentos operacionais. |
| Bergantino, Musso e Porcelli (2013) | Os autores utilizam 3 etapas, aplicando DEA-BCC, SFA e DEA-BCC, respectivamente. Tal configuração do estudo tem por objetivo avaliar o impacto de insumos contextuais na eficiência portuária, sejam eles: PIB regional, densidade populacional, índice de empregabilidade, acessibilidade (determinada pela presença ou não de acesso ferroviário) e contexto regulatório; de modo que as variáveis utilizadas no primeiro estágio são ajustadas por meio de coeficientes obtidos na segunda etapa, minimizando as vantagens de portos que possuem características contextuais mais favoráveis que os demais, e aplicadas novamente na terceira etapa. |

Quadro 3 - Análise da aplicação de etapas subsequentes ao DEA em pesquisas sobre a avaliação da eficiência no setor portuário

(continuação)

| Autor | Descrição das etapas subsequentes ao DEA |
|------------------------------------|--|
| Li, Luan e Pian (2013) | De igual forma ao estudo de Bergantino, Muso e Porcelli (2013), Li, Luan e Pian (2013) utilizam três etapas: DEA-BCC, SFA e DEA-BCC, respectivamente, de modo a mensurar o impacto de variáveis contextuais (PIB, volume de importações e exportações e população da região) na eficiência portuária, recalculando a eficiência sem os impactos de tais variáveis. |
| Wanke (2013) | Relaciona a eficiência calculada a variáveis contextuais, na segunda etapa, por meio de regressão truncada com a técnica de <i>bootstrap</i> . As variáveis contextuais são: administração portuária privada ou pública, área da hinterlândia, número de rodovias de acesso, acesso lacustre, acesso ferroviário, número de canais de acesso e tipo de operação (apenas contêineres, apenas graneis sólidos ou ambos). |
| Wilmsmeier, Tovar e Sanchez (2013) | Segunda etapa: com a utilização do Índice de Produtividade de <i>Malmquist</i> (MPI, do inglês – <i>Malmquist Productivity Index</i>), relacionam a eficiência calculada na primeira etapa à característica dos portos avaliados, classificando-os como portos focados em transbordo ou não focados em transbordo. |
| Yuen, Zhang e Cheung (2013) | Relacionam a eficiência calculada a variáveis contextuais, na segunda etapa, utilizando o modelo de regressão <i>Tobit</i> . As variáveis incluídas na análise são: presença de capital chinês e estrangeiro, tamanho da hinterlândia e competição intra e interportuária. |
| Ding <i>et al.</i> (2015) | Utilizam o MPI na segunda etapa para relacionar a eficiência às seguintes variáveis: número de funcionários com graduação ou pós-graduação, existência de armador estatal chinês no quadro societário do terminal, número de operadores portuários no terminal, capital social na época em que o terminal foi construído, número de linhas de navegação do terminal. |

Quadro 3 - Análise da aplicação de etapas subsequentes ao DEA em pesquisas sobre a avaliação da eficiência no setor portuário

(continuação)

| Autor | Descrição das etapas subsequentes ao DEA |
|------------------------------------|---|
| Oliveira e Cariou (2015) | Na segunda etapa, os autores aplicam uma regressão truncada com um modelo de <i>bootstrapping</i> paramétrico para identificar os impactos das seguintes variáveis no índice de eficiência relativa dos terminais de contêineres avaliados: população da cidade, classificação do terminal como gateway ou hub, índice de conectividade do transporte marítimo (LSCI, do inglês <i>Liner Shipping Connectivity Index</i>), do Banco Mundial e índice de competitividade interportos. |
| Suárez-Alemán <i>et al.</i> (2016) | Em uma etapa posterior ao DEA, utilizam o MPI para relacionar a eficiência com a existência de conexões ferroviárias, operadores privados e a vocação para ser um hub de transbordo dos portos analisados. Além disso, os pesquisadores também aplicam o SFA, incluindo na análise, além das variáveis utilizadas no MPI, variáveis relacionadas às seguintes características contextuais: crescimento do PIB no país onde o porto se encontra, conectividade (LSCI), índice de abertura do mercado e índice de corrupção do setor público. |
| Chang e Tovar (2017) | Utilizando o modelo <i>Arellano-Bond</i> em uma segunda etapa, os autores relacionam a eficiência com o tipo de administração do porto (público ou privada). |
| Jiang, Zhu e Cao (2017) | Utilizam quatro etapas em seu estudo: primeiro aplicam o DEA-BCC; depois o SFA, para ajustar os inputs, proporcionando condições contextuais idênticas às DMUs; novamente aplicam o DEA-BCC; e, por fim, aplicam o modelo <i>Super-efficiency</i> DEA-VRS. As variáveis contextuais utilizadas no SFA são relacionadas às cidades onde os portos são localizados, sejam elas: índice de dependência do comércio exterior, densidade das filas nos acessos rodoviários, desenvolvimento financeiro, informatização e industrialização. |

Quadro 3 - Análise da aplicação de etapas subsequentes ao DEA em pesquisas sobre a avaliação da eficiência no setor portuário (conclusão)

| Autor | Descrição das etapas subsequentes ao DEA |
|------------------------------|---|
| Sun <i>et al.</i> (2017) | Segunda etapa: aplicam um modelo de regressão múltipla, relacionando a eficiência com as seguintes variáveis: ativos fixos, quantidade de berços e localização geográfica (índice relacionado ao desenvolvimento econômico). |
| Wanke, Nwaogbe e Chen (2018) | Na segunda etapa, relacionam a eficiência, utilizando a abordagem <i>fuzzy</i> , com as seguintes variáveis contextuais: nível de serviço (avaliado pelo tempo entre a chegada e saída dos navios no porto), índice de ocupação dos berços, acessibilidade (calado máximo), tipo de carga e tipo de operador. |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Alguns outros exemplos de publicações que utilizam etapas posteriores à solução do DEA, não identificadas na revisão sistemática desta pesquisa por utilizarem termos incompatíveis com os utilizados na busca sistemática, ou por serem publicados em periódicos não contemplados pelas bases de periódicos consultados, são os estudos de Wanke e Barros (2016) e Turner, Windle e Dresner (2004). Wanke e Barros (2016) utilizam alguns insumos não quantificáveis, tratados como variáveis contextuais, como o modelo de administração do porto (público ou privado), a existência ou não de acesso lacustre e ferroviário, e a natureza das cargas movimentadas pelo porto. Turner, Windle e Dresner (2004) também fazem referência aos acessos ferroviários como variáveis contextuais, analisando a possibilidade ou não da entrada de vagões com pilhas de dois contêineres nas DMUs.

Em geral, estas análises com base em variáveis contextuais e ambientais, sendo elas variáveis tangíveis ou intangíveis, são realizadas por meio de técnicas de análise de regressão, utilizadas em uma ou mais etapas subsequentes à solução do DEA, que, por sua vez, engloba apenas variáveis tangíveis. No entanto, embora possa parecer bastante atrativa a ideia de utilizar estas variáveis contextuais em uma segunda etapa para explicar o comportamento da eficiência, González e Trujillo (2009) argumentam que esta prática é criticável, uma vez que algumas premissas estabelecidas na primeira etapa são violadas na segunda.

Esse tipo de análise com mais de uma etapa não considera as variáveis intangíveis como insumos, mas como fatores externos ao sistema produtivo. Sendo assim, uma potencial ineficiência relacionada à utilização de insumos intangíveis, bem como as relações destes insumos com os demais, não são mensuradas. Logo, o que se testa é a existência da correlação entre fatores, e não a análise caso a caso acerca da aplicação eficiente de recursos.

Dentre as abordagens analisadas, a que mais se aproxima da proposta apresentada pelo presente estudo é a aplicada por Bergantino, Musso e Porcelli (2013), que utilizam insumos intangíveis na segunda etapa para determinar o quão superior deve ser a produção dos portos que dispõem dessas características para serem considerados eficientes. A diferença, no entanto, é que os pesquisadores utilizam variáveis contextuais, ou seja, exógenas à administração das unidades analisadas, enquanto que este estudo propõe a utilização de variáveis inerentes ao planejamento dos terminais, e uma abordagem com apenas uma etapa.

Utilizando-se o modelo IDEA, as variáveis intangíveis podem ser incluídas na avaliação de eficiência em uma única etapa. Deste modo, ao mesmo tempo que a utilização de um *software* de gestão de operações, por exemplo, pode ser um fator que induz a uma produção suficiente para que a DMU atinja a fronteira eficiente, a utilização de tal ferramenta, sem que seja aferido determinado nível de produção, pode ser interpretada como ineficiência, uma vez que são dispendidos recursos para a sua aquisição e implementação, e pressupõe-se que as operações devem ser otimizadas.

À luz da revisão realizada neste capítulo, acerca do modelo de exploração das instalações portuárias brasileiras, bem como da bibliografia relacionada à eficiência portuária, com ênfase na aplicação do método DEA e a utilização de variáveis intangíveis nesse tipo de avaliação, procede-se à etapa de construção e solução do modelo. Considera-se, portanto, concluída a conceitualização do sistema em estudo e do modelo conceitual a ser aplicado.

3 CONSTRUÇÃO E SOLUÇÃO DO MODELO

A avaliação da eficiência relativa dos terminais é realizada, neste estudo, a partir da solução método DEA, optando-se pela utilização do modelo IDEA, que possibilita a solução do modelo em uma única etapa com a inclusão de variáveis intangíveis. É adotada a orientação do modelo ao produto, uma vez que o principal interesse dos terminais consiste em analisar como podem aumentar a movimentação de contêineres, ao invés de reduzir seus insumos (KUTIN; NGUYEN; VALLÉE, 2017).

Assumem-se também retornos constantes de escala (CRS), considerando-se que, conforme indicado por Tongzon (2001), os modelos que utilizam VRS são mais exigentes quanto à necessidade de um número mais elevado de DMUs para a definição da fronteira de produção. Além disso, destaca-se a relativa homogeneidade entre terminais de contêineres em países em desenvolvimento, observada por Suárez-Alemán *et al.* (2016), que indicam que a eficiência de escala não está entre as determinantes mais significativas para a avaliação do desempenho das DMUs em regiões como a América latina e Caribe.

Para a construção e solução do modelo, foram assumidas algumas premissas em relação aos terminais analisados, os insumos e produtos adotados, o processo de coleta de dados e as ferramentas e técnicas utilizadas para o seu tratamento e solução. Tais informações são apresentadas na sequência, em suas respectivas seções neste capítulo.

3.1 UNIDADES DE TOMADA DE DECISÃO (DMUS)

Os portos são organizações complexas, onde muitas atividades são desenvolvidas por diversas entidades. Além disso, podem destinar-se a diferentes naturezas de operação, sendo voltados, por exemplo, à movimentação de cargas, de passageiros, ou à prestação de serviço de apoio à extração de petróleo *offshore*; e estar sujeitos a diferentes níveis de competição e de regulação. Sendo assim, o estudo de portos como entidades homogêneas é complexo, de forma que é recomendável centrar as análises em uma atividade concreta, um tipo específico de carga e um número limitado de DMUs (GONZÁLEZ; TRUJILLO, 2009).

As unidades abordadas para a realização deste estudo, portanto, restringiram-se a terminais brasileiros especializados na movimentação de contêineres, sendo eles TUPs ou terminais localizados em portos públicos. Sendo assim, foram contatados 22 terminais, que representam mais de 99% do volume de movimentação de contêineres no Brasil no ano de 2017, de aproximadamente 9,3 milhões de TEUs, conforme o Estatístico Aquaviário disponibilizado pela ANTAQ (2018). Estes terminais são apresentados na Tabela 3, por ordem decrescente de movimentação.

Tabela 3 - DMUs selecionadas pelo estudo para a avaliação da eficiência
(continua)

| Terminal | Instalação | Participação acumulada na movimentação de contêineres em 2017 |
|------------------|---------------------|--|
| BTP | Porto de Santos | 13,90% |
| Santos Brasil | Porto de Santos | 27,53% |
| Portonave | TUP | 36,96% |
| TCP | Porto de Paranaguá | 44,98% |
| TECON Rio Grande | Porto de Rio Grande | 52,91% |
| DP World | TUP | 59,52% |
| Porto Itapoá | TUP | 65,84% |
| Tecon Suape | Porto de Suape | 70,54% |
| Libra Terminais | Porto de Santos | 74,29% |
| TECON Salvador | Porto de Salvador | 77,51% |
| Sepetiba Tecon | Porto de Itaguaí | 80,53% |
| Porto Chibatão | TUP | 83,41% |

Tabela 3 - DMUs selecionadas pelo estudo para a avaliação da eficiência (conclusão)

| Terminal | Instalação | Participação acumulada na movimentação de contêineres em 2017 |
|-----------------------------|-------------------------|--|
| Super Terminais | TUP | 86,10% |
| APM Terminals | Porto de Itajaí | 88,49% |
| Terminal Portuário do Pecém | TUP | 90,73% |
| TVV | Porto de Vitória | 92,80% |
| Multi-Rio | Porto do Rio de Janeiro | 94,55% |
| Terminal de Múltiplo Uso | Porto de Vila do Conde | 95,88% |
| Libra | Porto do Rio de Janeiro | 97,11% |
| Cais Público | Porto de Fortaleza | 97,90% |
| Cais Público | Porto de Natal | 98,52% |
| Tecon Imbituba | Porto de Imbituba | 99,05% |

Fonte: Adaptado de ANTAQ (2018).

Ressalta-se, no entanto, que nove desses terminais não se disponibilizaram a responder à pesquisa, de modo que não puderam ser incluídos na análise. Sendo assim, o conjunto de DMUs contemplados neste estudo é formado por 13 terminais brasileiros de contêineres, a serem identificados doravante por uma letra, de A a M, devido ao fato de que, para o fornecimento dos dados, foi informado que seus nomes não seriam vinculados às informações.

3.2 INSUMOS E PRODUTOS

As variáveis identificadas como as mais relevantes para o contexto do estudo, e, portanto, propostas para a construção do modelo, encontram-se dispostas na Figura 10. A adoção de tais variáveis: insumos tangíveis, insumo intangível e produto, pauta-se na discussão acerca de estudos relacionados ao setor portuário, conduzida na revisão da literatura, além dos conceitos apresentados sobre gestão estratégica e gestão de operações.

Os insumos foram divididos em dois grupos: tangíveis e intangíveis, sendo que os insumos tangíveis são subdivididos em infraestrutura e superestrutura, e o insumo intangível é subdividido em gestão estratégica e gestão das operações do terminal. Em relação aos produtos, foi optado pela utilização de apenas uma variável, a movimentação, em TEUs, aferida em 2017.

Figura 10 - Insumos e produtos selecionados pelo estudo para a avaliação da eficiência



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Os dois subgrupos do insumo intangível, gestão estratégica e gestão operacional, compõem uma única variável inserida no modelo, designada gestão, tendo em vista a opção por tratá-la de forma ampla, e a necessidade de obter-se variabilidade em seus valores. Para a determinação desta variável, foi questionada a presença de dez itens relacionados à gestão em cada um dos terminais, cinco relacionados ao subgrupo gestão estratégica e cinco relacionados ao subgrupo gestão operacional, por meio do envio de um formulário aos mesmos, disposto no Apêndice A.

As descrições dos itens relacionados à gestão estratégica, conforme foram apresentados aos terminais, bem como a

justificativa subjacente para a adoção de cada um deles nesta pesquisa, podem ser verificadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Descrição dos itens relacionados ao subgrupo gestão estratégica

| Item relacionado à gestão estratégica | Objetivo |
|---|---|
| Análise dos ambientes interno e externo (ex: matriz SWOT) | Verificar se o terminal identifica suas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, com base em estudos de mercado, considerando o cenário atual e futuro, e comparando as suas características às dos seus concorrentes |
| Definição e controle de objetivos específicos, indicadores e metas | Verificar se o terminal tem definidos, em seu instrumento de gestão, os objetivos específicos, indicadores e metas, e se os controla ao longo da vigência de tal instrumento |
| Definição de planos de ação para o atingimento dos objetivos (ex: 5W2H) | Verificar se o terminal elabora planos de ação para o atingimento dos objetivos citados no item anterior, contemplando informações como: qual é o objetivo; o porquê deste objetivo; quem são os responsáveis pela execução do plano; qual é o cronograma; onde será executado; descrição das atividades do plano; e qual é o custo deste plano, seja financeiro ou em quantidade de recursos humanos |
| Diretrizes para a aplicação sistemática de um instrumento de avaliação da satisfação dos usuários | Verificar se o terminal conduz, sistematicamente, a avaliação da satisfação dos usuários em relação aos seus serviços prestados |
| Atualização do planejamento estratégico em intervalos periódicos inferiores a cinco anos | Verificar se o planejamento estratégico, ou instrumento de gestão estratégica análogo, é atualizado periodicamente, de modo que as suas definições estejam alinhadas com a realidade do mercado e do próprio terminal |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Já o Quadro 5 apresenta as descrições e justificativas dos itens relacionados à gestão operacional dos terminais.

Quadro 5 - Descrição dos itens relacionados ao subgrupo gestão operacional

| Item relacionado à gestão operacional | Objetivo |
|---|--|
| Existe um departamento específico responsável pelo planejamento e controle das operações | Verificar se o terminal conta com um departamento específico para a elaboração do planejamento das atividades relacionadas às operações de contêineres nas estruturas de armazenagem e no cais do terminal |
| O terminal possui <i>software</i> para a gestão da movimentação dos contêineres no pátio e cais | Verificar se o terminal possui <i>software</i> relacionado à gestão das operações de contêineres no pátio e cais do terminal, como o <i>Navis N4</i> e o <i>OSCAR TOS</i> . |
| O terminal promove, periodicamente, treinamentos direcionados à equipe operacional | Verificar se o terminal investe sistematicamente no treinamento da sua equipe operacional, tanto no que se refere a processos quanto ao manejo de equipamentos |
| O terminal possui fluxo de processos estruturado e formalizado para o embarque e desembarque de contêineres | Verificar se o terminal possui um mapeamento formalizado e disseminado junto à equipe para as operações de contêineres no pátio e cais, possibilitando a padronização e controle de processos |
| Existe um plano estruturado e formalizado para a manutenção dos equipamentos e infraestrutura do terminal | Verificar se o terminal possui um plano de manutenção dos equipamentos e de suas instalações físicas, conferindo segurança e o atingimento da capacidade máxima às operações |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para a finalidade deste estudo, admite-se que quanto mais itens são contemplados por um terminal, mais robusta é a sua estrutura de gestão. Deste modo, considera-se que a variável gestão de um terminal que relata contemplar todos os dez itens questionados é superior à mesma variável de um terminal que relata contemplar oito desses dez itens. Não faz parte do escopo deste estudo, portanto, a avaliação da qualidade com que cada terminal contempla cada item,

de modo que, doravante, quando for indicado que a gestão de um terminal é superior à de outro, toma-se como referência o número de itens relacionados à gestão contemplados por cada um deles.

Em consonância aos preceitos mencionados ao longo da revisão bibliográfica, o fato de um terminal contemplar oito dos itens listados não significa que sua gestão é 100% superior à gestão de um terminal que contempla quatro destes, podendo-se afirmar somente que é superior, bem como é inferior à gestão de um terminal que contempla todos os dez itens. Sendo assim, após a coleta dos dados, os terminais foram segmentados em grupos que contemplam a mesma quantidade de itens, e o valor da variável gestão foi designado a cada terminal conforme o ranking do grupo em que se encontra. Os grupos foram ranqueados em ordem crescente, de modo que se assume o valor 1 para os terminais que contemplam mais itens, 2 para o grupo de terminais que contemplem a segunda maior quantidade de itens, e assim por diante.

De forma análoga à qual foi apresentada a variável intangível, os insumos tangíveis são listados no Quadro 6. Tais insumos são identificados com a mesma nomenclatura com a qual foram apresentados aos terminais, por meio do formulário enviado, descrevendo-se de forma mais extensiva a informação que se deseja imputar no modelo.

Quadro 6 - Descrição dos insumos tangíveis utilizados no modelo

(continua)

| Insumo tangível | Descrição |
|--|--|
| Comprimento de cais destinado à operação de contêineres | Comprimento acostável somado, em metros, dos berços destinados pelo porto organizado ou TUP para a movimentação de contêineres no terminal em questão. Este insumo refere-se à infraestrutura portuária do porto organizado ou do TUP |
| Calado máximo autorizado para a atracação no cais de contêineres do terminal | Valor máximo autorizado referente ao calado dos navios porta-contêineres, aferido no momento de entrada no canal de acesso e de desatracação do berço do terminal em que a embarcação foi operada. Este insumo refere-se à infraestrutura aquaviária do porto organizado ou do TUP |

Quadro 6 - Descrição dos insumos tangíveis utilizados no modelo
(conclusão)

| Insumo tangível | Descrição |
|---|--|
| Área total de pátio destinada à armazenagem de contêineres no terminal | Área somada, em metros quadrados, dos pátios destinados à armazenagem de contêineres no terminal. Este insumo refere-se à superestrutura do terminal |
| Número de equipamentos de cais (portêineres e MHCs) em operação no terminal | Número total de guindastes, sejam eles portêineres ou guindastes do tipo <i>Mobile Harbor Crane (MHC)</i> , em operação no terminal, destinados à movimentação de contêineres. Este insumo refere-se à superestrutura terminal |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Contando-se o insumo gestão, os quatro insumos tangíveis e o produto, apresentados na Figura 10, não é respeitada a limitação do número de variáveis a serem utilizadas no modelo em função da quantidade de DMUs, condição apresentada na seção 2.3.3.4, uma vez que são analisados 13 DMUs neste estudo. Portanto, utiliza-se, na seção 3.4, a metodologia ACP para reduzir os insumos tangíveis, adequando-se a quantidade de variáveis ao número de DMUs e evitando-se a inclusão de informações redundantes.

3.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados para esta pesquisa, conforme descrita no capítulo de metodologia, foi realizada em duas etapas distintas: coleta de dados secundários e coleta de dados primários, respeitando esta sequência. Optou-se por coletar dados secundários relacionados às características dos terminais e, posteriormente, validá-los junto aos mesmos, ao invés de simplesmente questionar tais valores, com o objetivo de aumentar a fidedignidade das informações utilizadas no modelo e de facilitar e estimular o preenchimento dos formulários por parte dos representantes dos terminais, uma vez que são frequentes os relatos no referencial bibliográfico acerca da dificuldade para a obtenção de informações nesse setor.

A coleta dos dados secundários foi realizada por meio de consulta ao Estatístico Aquaviário, disponibilizado pela ANTAQ (2018), aos planos mestres dos complexos portuários onde estão inseridos cada um dos terminais analisados, e aos endereços

eletrônicos dos próprios terminais. Com essas informações, cada um dos formulários direcionados aos terminais abordados foi preenchido preliminarmente, em campos específicos que podem ser visualizados no Apêndice A, indicados por um “X”, e posteriormente enviado ao representante de cada terminal para a validação das informações preliminares e obtenção das informações não disponíveis em meios públicos.

O formulário padrão com as informações a serem coletadas com as DMUs, conforme mencionado anteriormente, encontra-se no Apêndice A. Já os formulários específicos para cada terminal, com os dados secundários previamente preenchidos, foram enviados aos responsáveis indicados por cada terminal, identificados através de contato telefônico prévio ou por intermédio da plataforma de relacionamento profissional *LinkedIn*. A coleta de dados ocorreu entre o dia 7 de novembro de 2018 e o dia 27 de dezembro de 2018, sendo obtidas respostas de representantes de 13 terminais.

Ressalta-se que os valores de movimentação de cada terminal em 2017, aferidos em TEUs e obtidos por meio do Estatístico Aquaviário, disponibilizado pela ANTAQ (2018), não foram validados junto aos terminais. Essa decisão foi tomada para que o valor do produto de cada terminal respeite um critério padrão, já que a base de dados da ANTAQ não leva em consideração as remoções realizadas durante as operações das embarcações, evitando, portanto, que se considere tal volume para alguns terminais e não para outros. Leva-se em consideração também, para tal decisão, que a base disponibilizada pela ANTAQ é fornecida pelos próprios portos organizados ou TUPs à ANTAQ, de modo que a fidedignidade dos dados é resguardada.

3.4 TRATAMENTO DOS DADOS E SOLUÇÃO DO MODELO

Para a solução do modelo proposto, foi utilizado o *software Stata*, dada a disponibilidade de uma licença do mesmo e sua aderência às necessidades desta pesquisa. O *Stata* é um *software* bastante difundido em pesquisas em estatística, ciência de dados e economia, e conta com um pacote chamado DEAS, desenvolvido por Ji e Lee (2010), que, entre outros modelos do DEA, inclui o IDEA. Além disso, o *Stata* possui vários métodos meta-analíticos nativos, dentre eles a ACP, que também é aplicada neste estudo.

Após a coleta e validação dos dados (insumos e produtos), os mesmos foram tratados e aplicados ao modelo IDEA, cuja programação linear é composta pela função objetivo e restrições (4.1) a (4.6), apresentadas na seção 2.3.3.3. Para tanto, reduziram-se três dos quatro insumos tangíveis em um componente, com a utilização da ACP, de modo a respeitar o pressuposto previamente mencionado acerca da quantidade máxima de variáveis em função do número de unidades analisadas.

A utilização da ACP é condicionada a casos onde há uma correlação suficiente entre as variáveis que se pretende reduzir, uma vez que os componentes obtidos devem explicar a variância existente nos dados originais. Portanto, antes de serem calculados os componentes, foi utilizada a técnica *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO), que, conforme explica Katchova (2013), permite medir a adequação dos dados para a aplicação da ACP por meio de um índice que varia de 0 a 1, calculado com base na correlação entre as variáveis, sendo que valores superiores a 0,5 são considerados satisfatórios. O resultado da aplicação da técnica KMO é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado do teste KMO para a aplicação da ACP

| Variável | KMO |
|--------------------------|------|
| Comprimento do cais | 0,61 |
| Área do pátio | 0,68 |
| Equipamentos de cais | 0,71 |
| Calado máximo autorizado | 0,36 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Com base nos resultados do teste KMO, optou-se por não incluir o insumo calado máximo autorizado na redução das variáveis, uma vez que o índice encontrado para esse insumo é inferior a 0,5 e destoa dos demais. Logo, a ACP foi aplicada considerando-se apenas os insumos: comprimento de cais, área do pátio e equipamentos de cais, sendo encontrado um componente (Componente 1) que os representa em um único insumo, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado da aplicação da ACP para a redução de variáveis

| Componente | Autovalor (λ) | Variância explicada (%) | Variância Acumulada (%) |
|-------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Componente 1 | 2,06 | 0,69 | 0,69 |
| Componente 2 | 0,54 | 0,18 | 0,86 |
| Componente 3 | 0,41 | 0,14 | 1,00 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

De acordo com Katchova (2013), os componentes cujos autovalores (λ) são superiores a 1 devem ser utilizados para representarem a totalidade dos dados. Infere-se, portanto, a partir da Tabela 5, que o Componente 1, que explica aproximadamente 69% da variância nos dados, pode ser utilizado para se definir um único fator (insumo) para cada DMU, que é calculado por meio da correlação entre os insumos originais e o Componente 1. Sendo assim, este insumo único, utilizada no IDEA com a designação estrutura, representa o comprimento de cais, a área do pátio e os equipamentos de cais de cada um dos terminais.

Conforme mencionado por Adler e Golany (2001) e observado no presente estudo, os resultados da aplicação da ACP podem implicar em fatores negativos. As variáveis utilizadas no DEA, no entanto, necessitam ser representadas por valores positivos, sendo necessário, portanto, realizar um ajuste nos valores para aplicá-los ao método. Os autores indicam que esta adequação pode ser realizada somando-se cada fator pelo fator de menor valor mais um, e tal recomendação é aplicada nesta pesquisa.

Após a redução das variáveis e o tratamento do insumo estrutura, as informações coletadas acerca das práticas de gestão de cada terminal também foram tratadas, conforme detalhamento exposto na seção 3.2, de modo a agrupar e ranquear as DMUs conforme a robustez aferida de suas estruturas de gestão. Tais grupos e ranqueamento são expostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Valor alocado ao insumo gestão para cada DMU

| Ranking (valor do insumo gestão) | Itens de gestão contemplados | Grupo de DMUs |
|---|---|--|
| 1 | 10 | DMU A; DMU B; DMU D; DMU E; DMU F; DMU H; DMU I; DMU J; DMU K; e DMU L |
| 2 | 9 | DMU G |
| 3 | 8 | DMU C |
| 4 | 5 | DMU M |

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Após o tratamento dos insumos tangíveis e do insumo intangível, resulta-se em um total de quatro variáveis em análise e 13 DMUs, e são atendidas as condições necessárias para a solução modelo. Sendo assim, são apresentados, na Tabela 7, os insumos e produtos para cada DMU analisada, com a utilização dos quais o modelo é solucionado.

Tabela 7 - Variáveis utilizadas para a aplicação do IDEA-CRS orientado ao produto

| DMU | Insumos | | | Produto Movimentação (TEUs) |
|------------|------------------|---------------|---------------|--|
| | Estrutura | Calado | Gestão | |
| DMU A | 3,62 | 12,70 | 1 | 811.905 |
| DMU B | 4,30 | 12,80 | 1 | 743.157 |
| DMU C | 2,40 | 14,50 | 3 | 618.619 |
| DMU D | 2,86 | 12,80 | 1 | 592.304 |
| DMU E | 2,83 | 14,40 | 1 | 460.769 |
| DMU F | 3,82 | 14,00 | 1 | 351.476 |
| DMU G | 1,49 | 15,00 | 2 | 301.049 |
| DMU H | 3,43 | 15,70 | 1 | 282.682 |
| DMU I | 6,69 | 11,00 | 1 | 270.331 |
| DMU J | 1,00 | 11,00 | 1 | 251.199 |
| DMU K | 2,38 | 14,90 | 1 | 209.204 |
| DMU L | 2,45 | 15,00 | 1 | 115.159 |
| DMU M | 2,11 | 10,80 | 4 | 74.553 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Com base nos resultados apresentados, são realizadas, no capítulo seguinte, as análises referentes às constatações e direcionamentos expostos pelo próprio modelo. Além disso, esses resultados obtidos e suas implicações no ambiente real são discutidos, de modo que se possa analisar sua aderência ao contexto da movimentação de contêineres em terminais portuários, e avaliar os impactos de tais direcionamentos.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Após a aplicação dos dados ao modelo, os índices de eficiência relativa foram aferidos, possibilitando também a identificação dos valores de movimentação anual ideal para cada um dos terminais ineficientes, com base em seus insumos utilizados. Já em relação aos terminais eficientes, esta avaliação pode servir de apoio à tomada de decisão em conjunto com outras análises, como acerca da capacidade de movimentação do mesmo e a demanda pelos seus serviços. Em situações onde a demanda projetada é superior à capacidade, por exemplo, e o terminal apresenta-se eficiente, as alternativas para o atendimento da demanda provavelmente estarão vinculadas ao incremento nos insumos deste terminal, ou implantação de uma nova instalação.

Cabe salientar que as análises deste estudo, decorrentes da avaliação de eficiência técnica dos terminais, têm por objetivo demonstrar a aplicabilidade e os efeitos do método proposto. Sendo assim, não se pretende indicar soluções práticas para as operações de cada um dos terminais analisados, mas contribuir com a metodologia para a avaliação de tais entidades, com ênfase na inclusão de um insumo intangível na aplicação do método DEA no setor portuário.

Os resultados da solução do IDEA-CRS orientado ao produto, com as variáveis citadas no capítulo 3, são expostos na Tabela 8. Além da eficiência relativa de cada DMU, é apresentado um ranking das DMUs, da mais eficiente à menos eficiente, e a contribuição de cada DMU eficiente para a formação do alvo das DMUs ineficientes (λ).

Tabela 8 - Resultados da aplicação do IDEA-CRS orientado ao produto

| DMU | Eficiência | Benchmark DMU A (λ) | Benchmark DMU C (λ) | Benchmark DMU M (λ) |
|------------|-------------------|---|---|---|
| DMU A | 1,00 | 1 | 0 | 0 |
| DMU B | 0,92 | 1 | 0 | 0 |
| DMU C | 1,00 | 0 | 1 | 0 |
| DMU D | 0,87 | 0,49 | 0,45 | 0 |
| DMU E | 0,67 | 0,35 | 0,65 | 0 |
| DMU F | 0,43 | 1 | 0 | 0 |
| DMU G | 0,78 | 0 | 0,62 | 0 |
| DMU H | 0,36 | 0,84 | 0,16 | 0 |
| DMU I | 0,38 | 0,87 | 0 | 0 |
| DMU J | 0,97 | 0 | 0,42 | 0 |
| DMU K | 0,34 | 0 | 0,99 | 0 |
| DMU L | 0,18 | 0,04 | 0,96 | 0 |
| DMU M | 1,00 | 0 | 0 | 1 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

É possível observar na tabela que três DMUs foram avaliadas como eficientes: a DMU A, a DMU C e a DMU M. Em relação às demais DMUs, conforme mencionado anteriormente, é possível calcular-se o valor alvo para os seus produtos, com os quais as

mesmas seriam consideradas eficientes, dividindo-se o produto aferido pela eficiência relativa.

Além disso, por meio dos *benchmarks*, podem ser feitas recomendações aos terminais ineficientes, que, com base na análise dos insumos e produtos observados nos terminais eficientes com características semelhantes a eles, possibilitarão o crescimento de seus volumes de movimentação. Sendo assim, os terminais podem tomar as medidas necessárias para o seu desenvolvimento, caso estas estejam em sua esfera de atuação, ou pleiteá-las, caso não estejam.

A definição dos *benchmarks* é baseada no valor de λ , que varia de 0 a 1. Entende-se que quanto mais próximo de 1 for o valor de λ , mais forte é a relação de referência da DMU mais eficiente sobre a menos eficiente, sendo que o valor 0 indica que não há nenhuma relação entre elas. Em relação aos resultados aferidos, observa-se que a DMU A é a principal referência para cinco DMUs ineficientes (DMU B, DMU D, DMU F, DMU H e DMU I), pois possui o maior valor de λ em relação às mesmas, sendo que o seu volume de movimentações é exatamente o valor alvo para que a DMU B e a DMU F passem a ser consideradas eficientes, uma vez que, nestes casos, o λ é igual a 1.

Ainda em relação aos *benchmarks*, observa-se que, assim como a DMU A, a DMU C também é a principal referência para cinco DMUs ineficientes (DMU E, DMU G, DMU DMU J, DMU K E DMU L), especialmente para a DMU K e a DMU L, para as quais o valor de λ é próximo a 1. Para o caso da DMU L, citada anteriormente como a DMU menos eficiente entre as avaliadas, destaca-se que uma operação eficiente implicaria em uma movimentação superior à da DMU C. Sendo assim, a análise indica que a DMU L deveria analisar as características da DMU C, bem como a de outros concorrentes mais eficientes na mesma região, a fim de tomar as medidas cabíveis para alavancar a sua movimentação. Já a DMU M, embora também tenha sido avaliada como eficiente, não contribui para a formação dos alvos de outras DMUs.

Um fato interessante apresentado nos resultados da solução do modelo é que as DMUs M e C, que tiveram as duas piores classificações para o insumo gestão, foram avaliadas como eficientes. Tal informação tende a soar como um contrassenso, uma vez que se espera que entidades de qualquer setor que possuem uma estrutura de gestão mais robusta apresentem melhores resultados.

No entanto, embora tenham sido classificadas como eficientes, as DMUs M e C não são as que mais movimentam contêineres entre as DMUs analisadas, e sim as que apresentam a melhor relação entre insumos e produtos, sendo que, inclusive, a DMU M é a que movimenta o menor volume de TEUs ao longo do ano analisado. Simulando-se um investimento na estrutura de gestão da DMU M, através da qual o valor deste insumo do terminal passa a ser classificado na mesma categoria dos terminais que têm a estrutura de gestão mais completa, *ceteris paribus*, a sua eficiência passaria a ser a pior entre todas as DMUs analisadas, sendo avaliada em 0,14.

O resultado de tal simulação não significa que o investimento na gestão de um terminal simplesmente implicaria na redução de sua eficiência, mas que tal fato ensejaria um crescimento no volume de movimentações do terminal. Considerando essa simulação para a DMU M, o volume de movimentação alvo para que a mesma se torne eficiente, no caso do investimento citada na gestão, seria de aproximadamente 520 mil TEUs, ou seja, aproximadamente 450 mil TEUs a mais do que a movimentação aferida em 2017.

O acréscimo na movimentação de contêineres em um terminal brasileiro, conforme citado na simulação citada, de aproximadamente 450 mil TEUs, valor que representa cerca de 5% da movimentação total do país em 2017 e que exigiria a inauguração de novas linhas de navegação no terminal, não é algo provável que aconteça de um ano para o outro, especialmente em um terminal de porte reduzido. No entanto, a médio e longo prazo, tal investimento na gestão do terminal pode conduzir o mesmo a aferir volumes de movimentação de contêineres próximos ao alvo para que se torne eficiente, ou, analisando-se tal informação em conjunto com outros instrumentos de auxílio para a tomada de decisão, conduzir o terminal a utilizar parte da estrutura disponível para a movimentação de outros tipos de carga, mediante pleito aos órgãos responsáveis, caso essa seja a solução mais adequada.

Salienta-se que um terminal de contêineres de porte reduzido, por exemplo, pode não ter a necessidade de possuir uma estrutura de gestão tão robusta quanto a de um terminal de maior porte, e nem dispor de condições mercadológicas e infraestruturais para movimentar um volume tão grande de cargas, podendo ter como objetivo atender um nicho de mercado. Nesse caso, o fato do insumo gestão para este terminal de porte reduzido ser pior classificado do que um de maior porte, não é necessariamente algo negativo,

podendo ser um indicativo de uma gestão enxuta e adequada à sua realidade.

Já a DMU L, avaliada neste estudo como a menos eficiente, precisaria elevar o seu volume de movimentações de aproximadamente 115 mil TEUs anuais para aproximadamente 625 mil TEUs para ser considerada eficiente, mantidos os mesmos insumos das quais dispõe atualmente. Esse incremento é ainda maior do que o citado anteriormente, destacando-se que essa DMU está entre as que foram avaliadas com a estrutura de gestão mais completa.

Ressalva-se que a relação entre os investimentos realizados em um terminal, seja em gestão, infraestrutura ou superestrutura, e o incremento projetado para a movimentação de contêineres a médio e longo prazo foge à avaliação estática proporcionada pelo DEA, especialmente quando não se utiliza painel de dados, mas dados transversais, como é o caso desta pesquisa. Por esse motivo, ressalta-se, ao longo deste documento, a necessidade de se utilizar o DEA como um entre outros instrumentos de apoio para a tomada de decisão, relacionando-se as informações de todos eles para que se tomem decisões assertivas, e não como um instrumento de avaliação isolado.

À luz das análises fundamentadas nos resultados da solução do modelo, valida-se a hipótese levantada nesta pesquisa, apresentada na seção reservada à exposição da metodologia, que indica que a inclusão de variáveis intangíveis é um aspecto relevante para a avaliação da eficiência operacional de terminais de contêineres e contribui para o entendimento da situação atual e para o planejamento dos terminais. Ressalta-se, todavia, a importância de uma exploração mais extensiva do tema, especialmente no que se refere à obtenção de uma variabilidade maior nos valores relacionados a variáveis intangíveis, e na sua aplicação mediante a utilização de painéis de dados.

No capítulo seguinte, são identificadas as limitações encontradas na condução do presente trabalho, além da formulação de outras recomendações para trabalhos futuros, de modo a estimular melhorias no modelo aplicado e a exploração aprofundada de temas tangenciados ao longo da pesquisa. Ademais, são realizadas considerações finais acerca do tema em estudo e acerca dos resultados obtidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade portuária tem fundamental importância para o comércio internacional brasileiro, e o planejamento eficiente dos investimentos no setor é essencial para que o país possa desenvolvê-la, maximizando os resultados sem que haja desperdício de recursos. A movimentação de contêineres em terminais portuários, especificamente, cujo volume aferido em 2017 foi de aproximadamente 9,3 milhões de TEUs, deve atingir aproximadamente 20 milhões de TEUs em 2060, de acordo com a projeção de Brasil (2017b), de modo que demandará grandes investimentos no setor nos próximos anos, tendo em vista a sua natureza de capital muito intensivo.

Sendo assim, é muito importante que sejam realizadas análises que levem em consideração não só a capacidade dos terminais de contêineres para absorver a demanda de cada região, como também a eficiência com que utilizam seus recursos para movimentar as mercadorias. Combinando-se tais informações, a tendência é que se realizem investimentos mais assertivos, tanto na esfera pública quanto privada.

Esta pesquisa propôs um conjunto de procedimentos para a inclusão de uma variável intangível na avaliação da eficiência relativa de terminais de contêineres por meio da aplicação do modelo IDEA, relacionado ao método DEA, além de utilizar as variáveis tangíveis que são vastamente disseminadas em estudos dessa natureza. A variável intangível proposta relaciona-se às práticas de gestão estratégica e operacional dos terminais, e, conforme analisado no capítulo 4, contribui para o entendimento da situação atual e para o planejamento dos terminais, principalmente por conta da natureza comparativa do DEA.

Os resultados da solução do modelo IDEA-CRS, orientado à maximização do produto, mostram que 3 terminais são considerados eficientes, levando-se em consideração a fronteira de produção derivada das inter-relações entre os insumos e produtos dos 13 terminais brasileiros de contêineres avaliados. Dentre os terminais avaliados como eficientes, apenas um deles faz parte do grupo de terminais que possuem a estrutura de gestão mais robusta, conforme a definição proposta nesta pesquisa.

Tal constatação demonstra que não há uma relação direta entre a estrutura de gestão dos terminais e sua eficiência. Por outro lado, a inclusão deste aspecto intangível na avaliação comparativa, realizada por meio da aplicação do método DEA, propicia o enriquecimento da análise, incorporando as necessidades de melhorias relacionadas à gestão dos terminais no mesmo debate em que se discutem necessidades de melhorias em infraestrutura e superestrutura, de modo que esses aspectos podem ser considerados na hierarquização de prioridades.

Embora tenham sido coletadas informações satisfatórias para a construção, solução e análise do modelo proposto, e conseqüentemente para suprir os objetivos da pesquisa, ressalva-se que o método aplicado neste estudo, através do qual os itens que compõem a variável gestão foram selecionados, coletados e tratados, é altamente dependente das respostas enviadas pelos responsáveis dos terminais, uma vez que tais informações não se encontram divulgadas em meios públicos. Sendo assim, caso as informações fornecidas não condigam com a realidade das práticas de gestão dos terminais de contêineres, a análise derivada da avaliação de eficiência é comprometida, o que representa uma limitação do estudo.

Acrescenta-se que a coleta de informações realizada nesta pesquisa resultou em uma reduzida variabilidade nas respostas relacionadas às práticas de gestão dos terminais. Sendo assim, recomenda-se que, para a realização de trabalhos futuros, seja considerada a inclusão de mais itens relacionados à gestão estratégica e operacional dos terminais, ou que se opte por uma maneira alternativa para a condução da coleta de dados.

Alguns exemplos de meios alternativos para a coleta de dados são: a condução de pesquisas *in loco* ou a solicitação do envio de documentação comprobatória para cada informação requisitada, de modo que se tenha maior controle em relação às respostas. Ainda, o método utilizado para a formulação dos valores da variável intangível neste estudo pode ser testado em outros países ou regiões que disponham de mais unidades para análise e de uma maior acessibilidade aos dados, em outros tipos de terminais, ou ainda outras indústrias, mediante a realização de ajustes finos.

Outra recomendação para futuros estudos que envolvam a inclusão da gestão como uma das variáveis para a avaliação da eficiência, é a utilização de um painel de dados, de modo que se possa avaliar o comportamento da eficiência em um período de dez

ou onze anos, por exemplo, como é feito, com a consideração exclusiva de insumos tangíveis, por Serebrisky *et al.* (2016) e Suárez-Alemán *et al.* (2016). Deste modo, seria possível analisar de forma mais adequada os casos em que os terminais realizam investimentos em infraestrutura, superestrutura ou gestão, admitindo-se que o retorno, em volume de movimentação, pode se concretizar a médio prazo, conforme indicado no capítulo 4, bem como podem ser conduzidas outras análises, como a identificação se os terminais com melhor estrutura de gestão apresentam um crescimento maior na eficiência ao longo dos anos ou não.

Além disso, pode ser considerada a utilização de outros insumos intangíveis para a avaliação da eficiência dos terminais, como a qualificação dos seus colaboradores, a conservação dos seus equipamentos, e a existência e a qualidade dos acessos rodoviários, ferroviários e aquaviários, fora da poligonal da instalação portuária. Embora as características dos acessos aos portos sejam variáveis em relação às quais os terminais normalmente não possuem gerência, são fatores que, conforme indicado em Wanke e Barros (2016) e Yeo (2010), influenciam muito na competitividade e na eficiência no setor portuário, e frequentemente são citados por entidades do setor como um dos principais gargalos relacionados às operações dos portos brasileiros.

REFERÊNCIAS

ABLANEDO-ROSAS, J. H. *et al.* A study of the relative efficiency of Chinese ports: a financial ratio-based data envelopment analysis approach. **Expert Systems**, [S.l.], v. 27, n. 5, p. 349-362, 2010.

ACKOFF, Russell Lincoln; SASIENI, Maurice W. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: LTC, 1971.

ADLER, N.; GOLANY, B. Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 132, n. 2, p. 260-273, 2001.

AGÊNCIA PORTO CONSULTORIA. **Boletim Nº 3/2016 – Extinção da SEP/PR e impactos para o setor portuário**. 12 mai. 2016. Disponível em: <http://agenciaporto.com/boletim-no-32016-extincao-da-seppr-e-impactos-para-o-setor-portuario>. Acesso em: 9 fev. 2019.

AIGNER, D.; LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, P. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. **Journal of Econometrics**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 21-37, 1977.

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Engenharia portuária**. São Paulo: Edgard Blucher, 2013.

ALMAWSHEKI, E. S.; SHAH, M. Z. Technical Efficiency Analysis of Container Terminals in the Middle Eastern Region. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, [S.l.], v. 31, n. 4, p. 477-486, 2015.

ANDONOVA, V.; RUÍZ-PAIVA, G. The role of industry factors and intangible assets in company performance in Colombia. **Journal of Business Research**, [S.l.], v. 69, n. 10, p. 4377-4384, 2016.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES
AQUAVIÁRIOS. **Anuário estatístico 2017**. Brasília: ANTAQ, 2018. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario2017/> Acesso em: 18 jul. 2018.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES
AQUAVIÁRIOS. **Panorama Aquaviário Volume 1**. Brasília, 2007. Disponível em:
<http://antaq.gov.br/Portal/pdf/PanoramaAquaviario.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES
AQUAVIÁRIOS. **Panorama Aquaviário Volume 2**. Brasília, 2008. Disponível em:
<http://antaq.gov.br/Portal/pdf/PanoramaAquaviario2.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES
AQUAVIÁRIOS. **Panorama Aquaviário Volume 3**. Brasília, 2009a. Disponível em:
<http://antaq.gov.br/Portal/pdf/PanoramaAquaviario3.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES
AQUAVIÁRIOS. **Panorama Aquaviário Volume 4**. Brasília, 2009b. Disponível em:
<http://antaq.gov.br/Portal/pdf/PanoramaAquaviario4.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES
AQUAVIÁRIOS. **Panorama Aquaviário Volume 5**. Brasília, 2010. Disponível em:
<http://antaq.gov.br/Portal/pdf/PanoramaAquaviario5.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES
AQUAVIÁRIOS. **Panorama Aquaviário Volume 6**. Brasília,

2011. Disponível em:

<http://antaq.gov.br/Portal/pdf/PanoramaAquaviario6.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

APPA – ADMINISRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA. **Dicionário básico portuário**. 2 ed. Paranaguá:

APPA, 2011. Disponível em:

<http://www.portosdoparana.pr.gov.br/arquivos/File/dicionario2011.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BANKER, R. D.; CHANES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, Catonsville, v. 30, n. 9, p. 1031-1142, sep. 1984.

BANKER, R. D.; MOREY, R. C. The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, Catonsville, v. 32, n. 12, 1986.

BARROS, C. P. The measurement of efficiency of Portuguese sea port authorities with DEA. **International Journal of Transport Economics**, [S.l.], v. 30, n. 3, p. 335-354, 2003.

BERGANTINO, A. S.; MUSSO, E.; PORCELLI, F. Port management performance and contextual variables: Which relationship? Methodological and empirical issues. **Research in Transportation Business & Management**, [S.l.], v. 8, p. 39-49, 2013.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, United Kingdom, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BICHOU, K. An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. **Research in Transportation Economics**, [S.l.], v. 42, n. 1, p. 28-37, 2012.

BICHOU, K. Chapter 24: Review of Port Performance Approaches and a Supply Chain Framework to Port Performance Benchmarking. **Research in Transportation Economics**, [S.l.], v. 17, p. 567-598, 2007.

BRASIL. Decreto nº 1.746, de 13 de outubro de 1869. Autoriza o Governo a contratar a construção, nos diferentes portos do Império, de docas e armazéns para carga, descarga, guarda e conservação das mercadorias de importação e exportação. **Coleção de Leis do Império do Brasil de 1869**, Brasília, DF, 13 out. 1869. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/historicos/dpl/DPL1746-1869.htm. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 8.033, de 27 de junho de 2013. Regulamenta o disposto na Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013, e as demais disposições legais que regulam a exploração de portos organizados e de instalações portuárias. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 jun. 2013a. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/D8033.htm. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.048, de 10 de maio de 2017. Altera o Decreto nº 8.033, de 27 de junho de 2013, que regulamenta o disposto na Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013, e as demais disposições legais que regulam a exploração de portos organizados e de instalações portuárias. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 maio 2017a. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9048.htm#art1. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 24.447, de 22 de junho de 1934. Define, nos portos organizados, as atribuições conferidas a diferentes Ministérios, pelo art. 1º do decreto n. 20.829, de 21 de dezembro de 1931, retificado pelo decreto número 20.981, de 20 de janeiro de 1932, e dá outras providencias. **Coleção de Leis do Brasil**, Rio de Janeiro, RJ, 22 jun. 1934a. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D24599.htm. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 24.508, de 29 de junho de 1934. Define os serviços prestados pelas administrações dos portos organizados, uniformiza as taxas portuárias, quanto á sua espécie, incidência e denominação, e dá outras providencias. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jun. 1934b. Disponível em: <http://legis.senado.gov.br/legislacao/DetalhaSigen.action?id=446888>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 24.511, de 29 de junho de 1934. Regula a utilização das instalações portuárias e dá outras providencias. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jun. 1934c. Disponível em: <http://legis.senado.gov.br/legislacao/DetalhaSigen.action?id=446894>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 24.599, de 6 de julho de 1934. Autoriza a concessão de obras e melhoramentos dos portos nacionais, seu aparelhamento e a exploração do respectivo tráfego. **Coleção de Leis do Brasil de 1934**, Brasília, DF, 6 jul. 1934d. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D24599.htm. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto-lei nº 5, de 4 de abril de 1966. Estabelece normas para a recuperação econômica das atividades da Marinha Mercante, dos Portos Nacionais e da Rede Ferroviária Federal S.A. e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 abr. 1966. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0005-66.htm. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre o regime jurídico da exploração dos portos organizados e das instalações portuárias e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 fev. 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8630.htm. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores

portuários; altera as Leis nº 5.025, de 10 de junho de 1966, 10.233, de 5 de junho de 2001, 10.683, de 28 de maio de 2003, 9.719, de 27 de novembro de 1998, e 8.213, de 24 de julho de 1991; revoga as Leis nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993, e 11.610, de 12 de dezembro de 2007, e dispositivos das Leis nº 11.314, de 3 de julho de 2006, e 11.518, de 5 de setembro de 2007; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 jun. 2013b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112815.htm. Acesso em: 18 de jul. 2018.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura (MINFRA). **Plano Mestre**: Porto de Santos. Florianópolis: LabTrans/UFSC-MINFRA, 2019. v. 2. Disponível em: <http://infraestrutura.gov.br/planos-mestres-portos.html>. Acesso em: 15 mar. 2019.

BRASIL Secretaria Nacional de Portos do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (SNP/MTPA). **Projeção de demanda e carregamento da malha PNL 2016**. Florianópolis: LabTrans/UFSC, 2017b. Disponível em: <http://infraestrutura.gov.br/planejamento-portuario/113-politica-e-planejamento-de-transportes/5424-plano-nacional-de-log.html>. Acesso em: 28 mar. 2019.

BRASIL. Secretaria Nacional de Portos do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (SNP/MTPA). **Relatório de Metodologia do Plano Mestre**. Atualização. Florianópolis: Labtrans/UFSC, 2018. Disponível em: http://infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/PM_REL_Metodologia_08.01.2018.pdf. Acesso em: 28 mar. 2019.

BNDES. **Análise e avaliação da organização institucional e da eficiência de Gestão do Setor Portuário Brasileiro**. São Paulo: Booz Company, 2012.

BONILLA, M. *et al.* The traffic in Spanish ports: An efficiency analysis. **International Journal of Transport Economics**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 215-230, 2002.

BONTEMPI, M. E.; MAIRESSE, J. Intangible capital and productivity at the firm level: a panel data assessment. **Economics of Innovation and New Technology**, [S.l.], v. 25, n. 1-2, p. 22-51. 2015.

BOUYSSOU, D. Building Criteria: A Prerequisite for MCDA. *In*: BANA E COSTA, C.A. (Ed.). **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**. Berlin: Springer, 1990.

BRAY, S.; CAGGIANI, L.; OTTOMANELLI, M. Measuring transport systems efficiency under uncertainty by fuzzy sets theory based data envelopment analysis: Theoretical and practical comparison with traditional DEA model. **Transportation Research Procedia**, [S.l.], v. 5, p. 186-200, 2015.

CAMOS NETO, C. A. S. *et al.* **Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras portuárias**. Brasília: IPEA, 2009.

CERTO, Samuel C.; PETER, J. Paul. **Administração estratégica: planejamento e implantação da estratégia**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

CHANG, V.; TOVAR, B. Metafrontier analysis on productivity for West Coast of South Pacific terminals. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.l.], v. 103, p. 118-134, 2017.

CHARNES, A.; COPPER, W. W.; RHODES, E. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHASE, Richard B.; JACOBS, Robert; AQUILANO, Nicholas J. **Administração da produção e operações para vantagens competitivas**. 11. ed. Boston: McGraw Hill, 2006.

CHEN, Y.; ZHU, J. Interval and Ordinal Data: How Standard Linear DEA Model Treats Imprecise Data. *In*: ZHU, J.; COOK, W. D. (Eds.).

Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis. Boston: Springer, 2007.

CHEON, S. H. Impact of global terminal operators on port efficiency: A tiered data envelopment analysis approach. **International Journal of Logistics Research and Applications**, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 85-101, 2009.

CHO, H.; KIM, S. Examining Container Port Resources and Environments to Enhance Competitiveness: A Cross-Country Study from Resource-Based and Institutional Perspectives. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, [S.l.], v. 31, n. 3, p. 341-362, 2015.

CODESP – COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Soja lidera balança comercial do Porto de Santos. **Press Releases**, São Paulo, 27 abr. 2018. Disponível em: <http://www.portodesantos.com.br/press-releases/soja-lidera-balanca-comercial-do-porto-de-santos>. Acesso em: 9 fev. 2019.

COOK, W. D. Qualitative Data in DEA. *In*: COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. (Eds.). **Handbook on Data Envelopment Analysis**. 2 ed. Boston: Springer, 2011.

COOK, W. D.; ZHU, J. Rank order data in DEA: A general framework. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 174, n. 2, p. 1021-1038, 2006.

COOPER, W. W. *et al.* Sensitivity and Stability Analysis in DEA: Some Recent Developments. **Journal of Productivity Analysis**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 217-246, 2001.

COOPER, W. W.; PARK, K. S.; YU, G. IDEA and AR-IDEA: Models for Dealing with Imprecise Data in DEA. **Management Science**, Catonsville, v. 45, n. 4, p. 455-620, 1999.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; KAORU, Tone. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. 2. ed. Boston: Springer, 2007.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; ZHU, Joe. Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. *In*: _____. (Eds.). **Handbook on Data Envelopment Analysis**. 2 ed. Boston: Springer, 2011.

CÓRDOVA, F. M.; DURÁN, C. A.; GALINDO, R. Evaluation of Intangible Assets and Best Practices in a Medium-sized Port Community. **Procedia Computer Science**, [S.l.], v. 91, p. 75-84, 2016.

CORNWELL C.; SCHMIDT P. Production Frontiers and Efficiency Measurement. *In*: MÁTYÁS L.; SEVESTRE P. (Eds.). **The Econometrics of Panel Data: Advanced Studies in Theoretical and Applied Econometrics**. Dordrecht: Springer, 1996. 33 v.

COSTA, Giovani Glaucio de Oliveira. **Um Procedimento Inferencial para Análise Fatorial Utilizando as Técnicas Bootstrap e Jackknife**: Construção de Intervalos de Confiança e Testes de Hipóteses. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CULLINANE, K. *et al.* The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.l.], v. 40, n. 4, p. 354-374, 2006.

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

CULLINANE, K.; SONG, D. W.; WANG, T. The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. **Journal of Productivity Analysis**, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 73-92, 2005b.

CULLINANE, K.; WANG, T. Chapter 23 Data: Envelopment Analysis (DEA) and Improving Container Port Efficiency.

Research in Transportation Economics, [S.l.], v. 17, p. 517-566, 2007a.

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

CULLINANE, K.; WANG T. The efficiency of European container ports: A cross-sectional data envelopment analysis. **International Journal of Logistics Research and Applications**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 19-31, 2007b.

DAVIES, H. T. O.; CROMBIE, I. K. **What is a Systematic Review?** Kent, EUA: Hayward Medical Communications, 2001.
Disponível em:
<http://vivrolfe.com/ProfDoc/Assets/Davis%20What%20is%20a%20systematic%20review.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2018.

DESPOTIS, D. K.; SMIRLIS, Y. G. Data envelopment analysis with imprecise data. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 140, n. 1, p. 24-36, 2002.

DING, Z. Y. *et al.* The Relative Efficiency of Container Terminals in Small and Medium-Sized Ports in China. **Asian Journal of Shipping and Logistics**, [S.l.], v. 31, n. 2, p. 231-251, 2015.

ELSAYED, A.; KHALIL, N. S. Evaluate and Analysis Efficiency of Safaga Port Using DEA-CCR, BCC and SBM Models - Comparison with DP World Sokhna. *In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING - WORLD MULTIDISCIPLINARY CIVIL ENGINEERING-ARCHITECTURE-URBAN PLANNING SYMPOSIUM (WMCAUS)*, 2017, Praga, República Tcheca. **Anais [...]** Praga, República Tcheca: IOP Publishing, 2017.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de metodologia**. 5. ed. [rev.]. São Paulo: Saraiva, 2006.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, [S.l.], v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

FERNÁNDEZ, E.; MONTES, J. M.; VÁZQUEZ, C. J. Typology and strategic analysis of intangible resources: A resource-based approach. **Technovation**, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 81-92, 2000.

FITZSIMMONS, James A.; FITZSIMMONS, Mona J. **Service management: operations, strategy, and information technology**. 2nd. ed. Boston: McGraw-Hill Medical, 1997.

FRANCO, F.; FORTUNA, M. **O método da fronteira estocástica na medição da eficiência dos serviços hospitalares: uma revisão bibliográfica**. Lisboa: Associação Portuguesa de Economia da Saúde, 2003.

FREITAS, José Carlos Higa de. Novo marco regulatório do setor portuário: forças econômicas e construção histórica. **Revista Publius**, São Luís, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2014.

GAMASSA, P. K. P.; CHEN, Y. Comparison of port efficiency between Eastern and Western African ports using DEA window analysis. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICES SYSTEMS AND SERVICES MANAGEMENT (ICSSSM)*, 14., 2017, Dalian, China. **Anais [...]** Dalian, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017.

GAO, H.; LV, L.; LIU, W. Efficiency measurement of Shenzhen port using data envelopment analysis. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGENCY MANAGEMENT AND MANAGEMENT SCIENCES*, 2010, Pequim, China. **Anais [...]** Pequim, China: IEEE, 2010.

GOLDBERG, David Joshua Krepel. **Regulação do setor portuário no Brasil: análise do novo modelo de concessão de portos organizados**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GONZÁLEZ, M.M.; TRUJILLO, L. Efficiency Measurement in the Port Industry: A Survey of the Empirical Evidence. **Journal of**

Transport Economics and Policy, UK, v. 43, n 2, p. 157-192, 2009.

GUERREIRO, Alexandra dos Santos. **Análise da eficiência de empresas de comércio eletrônico usando técnicas de análise envoltória de dados**. 2006. Tese (Doutorado em Logística) - PPG em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

GÜNER, S. Investigating infrastructure, superstructure, operating and financial efficiency in the management of Turkish seaports using data envelopment analysis. **Transport Policy**, [S.l.], v. 40, p. 36-48, 2015.

HUNG, S. W.; LU, W. M.; WANG, T. P. Benchmarking the operating efficiency of Asia container ports. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 203, n. 3, p. 706-713, 2009.

JANG, H. M.; PARK, H.; KIM, S. Y. Efficiency analysis of major container ports in Asia: Using DEA and Shannon's entropy. **International Journal of Supply Chain Management**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 1-6, 2016.

JARBOUI S.; FORGET, P.; BOUJELBENE, Y. Public road transport efficiency: a literature review via the classification scheme. **Public Transport**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 101-128, 2012.

JI, Y.; LEE, C. Ji, Y. and C. Lee. Data envelopment analysis. **Stata Journal**, [S.l.], v. 10 n. 2, p. 267-280, 2010.

JIANG, B.; LI, J. DEA-based Performance Measurement of Seaports in Northeast Asia: Radial and Non-radial Approach. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, [S.l.], v. 25, n. 2, p. 219-236, 2009.

JIANG, J. L *et al.* DEA based on strongly efficient and inefficient frontiers and its application on port efficiency measurement. **OR Spectrum**, [S.l.], v. 34, n. 4, p. 943-969, 2012.

JIANG, Z.; ZHU, H.; CAO, Y. Efficiency pattern and spatial strategy of ports in Yangtze River Delta Region. **Chinese Geographical Science**, [S.l.], v. 27, n. 2, p. 298-310, 2017

JOC GROUP INC. **Berth Productivity: The Trends, Outlook and Market Forces Impacting Ship Turnaround Times**. jul. 2014. Disponível em: [https://www.joc.com/sites/default/files/u59196/Whitepapers/JOC-PP-whitepaper-v8%20\(1\).pdf](https://www.joc.com/sites/default/files/u59196/Whitepapers/JOC-PP-whitepaper-v8%20(1).pdf). Acesso em: 27 fev. 2018.

JUBRAN, Aparecido Jorge. **Modelo de análise de eficiência na administração pública**: estudo aplicado às prefeituras brasileiras usando a análise envoltória de dados. 2006. Tese (Doutorado em Sistemas Eletrônicos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KATCHOVA, A. **Econometrics Models**: Principal Component Analysis. Econometrics Academy, 2013. Disponível em: <https://sites.google.com/site/econometricsacademy/econometrics-models/principal-component-analysis>. Acesso em: 29 jan. 2019.

KHIN, L.; YANG, H.L. Efficiency measurement of ports in Myanmar using DEA. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-PRODUCT E-SERVICE AND E-ENTERTAINMENT - ICEEE2010, 2010, China. **Anais [...]** China: ICEEE, 2010.

KIM, A.; LU, J. A Study on the Effects of Network Centrality and Efficiency on the Throughput of Korean and Chinese Container Ports. *In*: ICTE 2015 - PROCEEDINGS OF THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSPORTATION ENGINEERING, 2015, China. **Anais [...]** China: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2015.

KIM, S. H.; PARK, C. G; PARK, K. S. An application of data envelopment analysis in telephone offices evaluation with partial data. **Computers & Operations Research**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 59-72, 1999.

KUTIN, N.; NGUYEN, T. T.; VALLÉE, T. Relative Efficiencies of ASEAN Container Ports based on Data Envelopment Analysis. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, [S.l.], v. 33, n. 2, p. 67-77, 2017.

LAKATOS, E. Maria; MARCONI, M. de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LI, D.; LUAN, W.; PIAN, F. The Efficiency Measurement of Coastal Container Terminals in China. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, [S.l.], v. 13, n. 5, p. 10-15, 2013.

LIMA, Cristiana Maria Melhado Araújo. **Regime jurídico dos portos marítimos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

LIN, L. C.; TSENG, C. C. Operational performance evaluation of major container ports in the Asia-Pacific region. **Maritime Policy and Management**, [S.l.], v. 34, n. 6, p. 535-551, 2007.

LLOYD'S LIST. **One Hundred Ports 2017**. 2017. Disponível em: <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/one-hundred-container-ports-2017>. Acesso em: 27 fev. 2018.

LOZANO, S.; VILLA, G.; CANCA, D. Application of centralised DEA approach to capital budgeting in Spanish ports. **Computers & Industrial Engineering**, [S.l.], v. 60, n. 3, p. 455-465, 2010.

LU, B.; PARK, N. K.; HUO, Y. The Evaluation of Operational Efficiency of the World's Leading Container Seaports. **Journal of Coastal Research**, Coconut Creek, v. 73, p. 248-254, 2015.

MADEIRA JUNIOR, A. G. *et al.* Multicriteria and multivariate analysis for port performance evaluation. **International Journal of Production Economics**, [S.l.], v. 140, n. 1, p. 450-456, 2012.

MDIC – MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Saldo comercial do primeiro trimestre soma US\$ 13,9 bilhões**. 2 abr. 2018. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/noticias/3197-saldo-comercial->

do-primeiro-trimestre-bate-recorde-de-us-14-bilhoes. Acesso em: 9 fev. 2019.

MELLO, J. C. C. B. S. de. *et al.* Curso de Análise Envoltória de Dados. *In: SBPO – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 37., 2005, Gramado. **Anais [...]** Gramado: Sobrapo, 2005.

MEREDITH, J. R. *et al.* Alternative research paradigms in operations. **Journal of Operations Management**, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 297-326, 1989.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MINTZBERG, Henry. *et al.* **O processo da estratégia: conceitos, contextos e casos selecionados**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

MOELLER, K. Intangible and financial performance: causes and effects. **Journal of Intellectual Capital**, United Kingdom, v. 10, n. 2, p. 224-245, 2009.

MOKHTAR, K. Technical Efficiency of Container Terminal Operations: a Dea Approach. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 1-19, 2013.

MORAES, L. *et al.* The multicriteria analysis for construction of benchmarks to support the Clinical Engineering in the Healthcare Technology Management. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 200, n. 2, p. 607-615, 2010.

MORETTI, A. R.; ROCHA, N. C. S.; MAZUCHELI, J. Um Estudo sobre Fronteiras Estocásticas com Múltiplos Outputs e Inputs Aplicado à Avaliação de Plataformas de Petróleo. **Revista de Ciências Exatas**, Rio de Janeiro, v. 27/31, n. 1, p. 33-57, 2012.

MOUSAVIZADEH, R.; KHALILI-DAMGHANI, K. Cooperative mechanism based on data envelopment analysis and artificial neural

network to measure efficiency: Case study of Iranian ports. **International Journal of Applied Decision Sciences**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 52-68, 2017.

MUNISAMY, S.; JUN, O. B. Efficiency of Latin American Container Seaports using DEA. *In: PROCEEDINGS OF 3RD ASIA-PACIFIC BUSINESS RESEARCH CONFERENCE, 2013, Kuala Lumpur. Anais [...]* Kuala Lumpur: [S.n.], 2013.

NGUYEN, H.O. *et al.* Measuring port efficiency using bootstrapped DEA: the case of Vietnamese ports. **Maritime Policy and Management**, [S.l.], v. 43, n. 5, p. 644-659, 2016.

NOTTEBOOM, T. Container Shipping. *In: TALLEY, W. K. (Ed.). The Blackwell Companion to Maritime Economics.* Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2012.

NOTTEBOOM, T; YAP W.Y. Port Competition and Competitiveness. *In: TALLEY, W. K. (Ed.). The Blackwell Companion to Maritime Economics.* Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2012.

NOVAES, Antonio Galvão Naclério. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação.** 3. ed. rev. atual. e ampl. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

NÚÑEZ-SÁNCHEZ, R; COTO-MILLÁN, P. The impact of public reforms on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach. **Transport Policy**, [S.l.], v. 24, p. 99-108, 2012.

ODECK, J.; ALKADI, A. Evaluating efficiency in the Norwegian bus industry using data envelopment analysis. **Transportation**, [S.l.], v. 28, n. 3, p. 211-232, 2001.

OLIVEIRA, G. F.; CARIOU, P. The impact of competition on container port (in)efficiency. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.l.], v. 78, p. 124-133, 2015.

PAK, J. Y.; THAI, V. V.; YEO, G. T. Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Intangible Resources Affecting Port Service Quality.

The Asian Journal of Shipping and Logistics, [S.l.], v. 31, n. 4, p. 459-468, 2015.

PARÉ, G. KITSIOU, S. Methods for Literature Reviews. *In*: LAU, F.; KUZIEMSKY, C. (Eds.). **Handbook of eHealth Evaluation: An Evidence-based Approach**. Victoria, EUA: University of Victoria, 2017.

PEARSON, J.; PITFIELD, D.; RYLEY, T. Intangible resources of competitive advantage: Analysis of 49 Asian airlines across three business models. **Journal of Air Transport Management**, [S.l.], v. 47, p. 179-189, 2015.

PETTICREW, M.; ROBERTS, H. **Systematic reviews in the social sciences: a practical guide**. Malden, EUA: Blackwell Publishing, 2006.

PIRES, Gabriel Campos. **Estudo da eficiência de terminais de contêineres usando o método da análise envoltória de dados (DEA)**. 2016. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Transportes e Logística) - Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

PJEVČEVIĆ, D. *et al.* Dea window analysis for measuring port efficiencies in Serbia. **Promet - Traffic & Transportation**, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 63-72, 2012.

SCHØYEN, H. *et al.* Measuring the contribution of logistics service delivery performance outcomes and deep-sea container liner connectivity on port efficiency. **Research in Transportation Business & Management**, [S.l.], 2018.

SEREBRISKY, T. *et al.* Exploring the drivers of port efficiency in Latin America and the Caribbean. **Transport Policy**, [S.l.], v. 45, p. 31-45, 2016.

SERTEK, Paulo; GUINDANI, Roberto A.; MARTINS, Tomás, S. **Administração e planejamento estratégico**. Curitiba: IBPEX, 2007.

SHARMA, M. J.; YU, S. J. Benchmark optimization and attribute identification for improvement of container terminals. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 201, n. 2, p. 568-580, 2010.

SHARMA, M. J.; YU, S. J. Performance based stratification and clustering for benchmarking of container terminals. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 36, n. 1, p. 5016-5022, 2009.

SHEN, Y. *et al.* Modeling qualitative data in data envelopment analysis for composite indicators. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, [S.l.], v. 2, n.1, p. 21-30, 2011.

STEVANOV, B. *et al.* Reengineering the Port Equipment Maintenance Process. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 103-109, 2016.

SUÁREZ-ALEMÁN, A. *et al.* When it comes to container port efficiency, are all developing regions equal? **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.l.], v. 86, p. 56-77, 2016.

SUN, J. *et al.* Performance evaluation of Chinese port enterprises under significant environmental concerns: An extended DEA-based analysis. **Transport Policy**, [S.l.], v. 60, p. 75-86, 2017.

TANNURI-PIANTO, M. E.; SOUSA, M. C. S.; ARCOVERDE, F. D. Fronteiras de eficiência estocásticas para as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise de dados de painel. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 221-247, 2009.

THE ECONOMIST. **Why have containers boosted trade so much?** 21 mai. 2013. Disponível em:
<https://www.economist.com/the-economist-explains/2013/05/21/why-have-containers-boosted-trade-so-much>. Acesso em: 26 fev. 2018.

TOLOO, M.; KESHAVARS, E.; HATAMI-MARBINI, A. Dual-role factors for imprecise data envelopment analysis. **Omega**, [S.l.], v. 77, p. 15-31, 2018.

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

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

TONGZON, J. E. Port choice and freight forwarders. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, [S.l.], v. 45, n. 1, p. 186-195, 2009.

TRIGO, Priscila Pacheco. **Avaliação da eficiência técnica do ensino básico brasileiro**. 2010. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

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

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **Handbook of Statistics 2017**. New York: United Nations; United Nations Conference on Trade and Development, 2018. Disponível em: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/tdstat42_en.pdf. Acesso em: 27 fev. 2018.

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **Review of Maritime Transport 2017**. 2017. Disponível em: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2017_en.pdf. Acesso em: 27 fev. 2018.

VIEIRA, G. B. B. *et al.* 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**, Ponta Grossa, v. 10, n. 4, p. 793-809, 2014.

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

WANKE P. F. Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: a two-stage network-DEA approach. **Transport Policy**, [S.l.], v. 29, p.145–153, 2013.

WANKE, P.; NWAOGBE, O. R.; CHEN, Z. Efficiency in Nigerian ports: handling imprecise data with a two-stage fuzzy approach. **Maritime Policy and Management**, [S.l.], v. 45, n. 5, p. 699-715, 2018.

WILMSMEIER, G.; TOVAR, B.; SANCHEZ, R. J. The evolution of container terminal productivity and efficiency under changing economic environments. **Research in Transportation Business & Management**, [S.l.], v. 8, p. 50-66, 2013.

WU, J.; LIU, J.; GUO, D. Coastal ports efficiency evaluation and analysis when considering undesirable output. **International Journal of Information and Decision Sciences**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 27-44, 2017.

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

YEO, H. Competitiveness of Asian Container Terminals. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, [S.l.], v. 26, n. 2, p. 225-246, 2010.

YIP, T. L.; SUN, X.; LIU, J. J. Evolution of global container operator efficiency: A DEA approach. *In*: SCMIS 2010 - PROCEEDINGS OF 2010 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND INFORMATION SYSTEMS: LOGISTICS SYSTEMS AND ENGINEERING, 2011, Hong Kong, China. **Anais** [...] Hong Kong, China: IEEE, 2011.

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

ZAHNAN, S. Z. *et al.* Analysis of port efficiency using imprecise and incomplete data. **Operational Research**, [S.l.], p. 1-28, 2017.

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

ZHU, J. Efficiency evaluation with strong ordinal input and output measures. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 146, n. 3, p. 477-485, 2003.

APÊNDICE A – Formulário para a Coleta de Dados

Figura 11 - Formulário padrão para a coleta de dados dos terminais

FORMULÁRIO

- O presente formulário é objeto de um estudo científico, no âmbito de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina;
- A finalidade da obtenção, atualização ou validação das informações é estritamente acadêmica;
- Os questionamentos se referem às características do terminal relacionadas à movimentação de contêineres; e
- As informações coletadas previamente foram obtidas em publicações da SNP/MTPA e/ou site do próprio terminal.

Infraestrutura e Superestrutura

- | | |
|--|---|
| <p>1. Qual é o comprimento de cais destinado à operação de contêineres?</p> <p><input type="radio"/> X metros <input type="radio"/> Outro valor: metros</p> | <p>3. Qual é a área total de pátio destinada à armazenagem de contêineres no terminal?</p> <p><input type="radio"/> X m² <input type="radio"/> Outro valor: m²</p> |
| <p>2. Qual é o calado máximo autorizado para a atracação no cais de contêineres do terminal?</p> <p><input type="radio"/> X metros <input type="radio"/> Outro valor: metros</p> | <p>4. Qual é o número de equipamentos de cais (portêineres e MHCs) em operação no terminal?</p> <p><input type="radio"/> X equipamentos <input type="radio"/> Outro valor: equipamentos</p> |

Gestão Estratégica

5. Em relação ao planejamento estratégico do terminal, ou instrumento de gestão análogo, quais destes itens são contemplados?
- Análise dos ambientes interno e externo (ex matriz SWOT)
- Definição e controle de objetivos específicos, indicadores e metas
- Definição de planos de ação para o atingimento dos objetivos (ex 5W2H)
- Diretrizes para a aplicação sistemática de instrumento de avaliação da satisfação dos usuários
- Atualização do planejamento estratégico em intervalos periódicos inferiores a cinco anos
- O terminal não possui planejamento estratégico, ou o mesmo não contempla os itens supracitados

Gestão Operacional

6. Em relação à gestão das operações de contêineres, indique os itens que se aplicam ao terminal.
- Existe um departamento específico responsável pelo planejamento e controle das operações
- O terminal possui software para a gestão da movimentação dos contêineres no pátio e cais
- O terminal promove, periodicamente, treinamentos direcionados à equipe operacional
- O terminal possui fluxo de processos estruturado e formalizado para o embarque e desembarque de contêineres
- Existe um plano estruturado e formalizado para a manutenção dos equipamentos e infraestrutura do terminal
- Nenhum dos itens supracitados é verdadeiro

Observações

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).