

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

Jully Anne Giacomin

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE GRANÉIS SÓLIDOS UTILIZANDO O
MÉTODO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Joinville

2019

Jully Anne Giacomin

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE GRANÉIS SÓLIDOS UTILIZANDO O
MÉTODO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Naval do Centro
Tecnológico de Joinville da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientador(a): Dr(a). Eng. Vanina Macowski
Durski Silva

Joinville

2019

Jully Anne Giacomini

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE GRANÉIS SÓLIDOS UTILIZANDO O
MÉTODO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina e aprovado em sua forma final.

Local, 05 de julho de 2019.

Prof. Luis Fernando Peres Calil, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Vanina Macowski Durski Silva, Dra.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luis Fernando Peres Calil, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^aChristiane Wenck Nogueira Fernandes, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a Jesus, em primeiro lugar. Ele de fato é mais real do que os olhos podem enxergar e mais concreto do que aquilo que se pode tocar. Merecedor de honras e glórias porque é fidedigno, infalível e imutável, permaneceu ao meu lado todos os dias, supriu minhas necessidades, suportou minhas fraquezas e me deu completude de vida.

Aos meus maiores exemplos, meus pais, Julio e Wal, e ao meu irmão César, por todos os ensinamentos, carinho, apoio, orações e amor. Todas as minhas conquistas são de vocês, bem como o meu coração. Anseio um dia poder retruir tudo o que fizeram por mim, mas deixo aqui meu eterno: Muito obrigado!

Aos meus amigos do Chi Alpha UFSC, em especial, Pérside, Yohana, Maiko, Pedro, Ester, Breno, Netto, Joêlda e Marcella. Vocês se tornaram a minha família em Joinville e sempre terão minha gratidão. Através dos nossos relacionamentos pude amadurecer como ser humano e crescer em sabedoria segundo a vontade de Cristo.

Meu muito obrigado também à minha orientadora, Prof.^a Vanina, sem a qual não seria possível entregar este trabalho em um curto período de tempo, agradeço pelas horas investidas nas orientações, sendo sempre muito presente, ao incentivo e a pressão dada na medida certa para que eu pudesse evoluir. Da mesma forma, gostaria de agradecer ao Prof. Calil por toda a paciência e conselhos, mais do que um excelente profissional, o senhor é dono de um belo caráter.

Por fim, agradeço a todos os operadores logísticos dos terminais estudados por terem sido solícitos em me fornecer os dados necessários e também à CNPq por tornar possível a utilização do *software Frontier Analyst* nesta análise.

RESUMO

O crescimento do mercado mundial implica no aumento do fluxo de mercadorias e, conseqüentemente, há um aumento na demanda por serviços de transporte marítimo. As economias tendem a realizar investimentos em infraestrutura e tecnologia no transporte no intuito de se manterem competitivas. À vista disso, torna-se evidente a necessidade de estudos para aumentar a eficiência do setor portuário. O presente trabalho apresenta o estudo da eficiência relativa de terminais de granéis sólidos brasileiros utilizando o método de análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*). Para isso foram selecionados 27 terminais, sendo que oito importam carvão, nove exportam minério de ferro e dez exportam soja, e adotados quatro *inputs* e dois *outputs*. Os resultados mostraram uma tendência de superioridade de eficiência de terminais exportadores diante dos importadores.

Palavras-chave: Eficiência. Terminais de Granéis Sólidos. Análise Envoltória de Dados. DEA.

ABSTRACT

The growth of the global market implies in an increase in the flow of goods and, consequently, there is an increase in the demand for maritime transport services. Economies tend to invest in transport infrastructure and technology in order to remain competitive. Therefore, it becomes evident that studies are needed to increase the efficiency of the port sector. The current work presents the study of the relative efficiency of Brazilian dry bulk terminals using the Data Envelopment Analysis (DEA) method. For this purpose, 27 terminals were selected, which eight of those import coal, nine export iron ore and ten export soybeans, and adopted four inputs and two outputs. The results showed a trend for higher efficiency of exporting terminals than importers.

Key words: Efficiency. Dry Bulk Terminals. Envelopment Analysis of Data. DEA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comércio Marítimo Internacional (milhões de toneladas)	13
Figura 2 - Previsão do tráfego de grão no Brasil (milhões de toneladas)	16
Figura 3 - Mapa mundial da qualidade de infraestrutura portuário em 2013	18
Figura 4 - Diferenças entre DEA e Fronteira Estocástica	21
Figura 5 – Diagrama esquemático do embarque de minérios e carvão	24
Figura 6 – Diagrama esquemático do desembarque de minérios e carvão	24
Figura 7 - Comércio Mundial dos Principais Granéis Sólidos (milhões de toneladas).....	25
Figura 8 - Principais Rotas Marítimas de Granéis Sólidos	26
Figura 9 - Fronteira de Produção	31
Figura 10 - Tipos de Modelo e diferentes abordagens da DEA.....	34
Figura 11 – Modelo CCR.....	36
Figura 12 - Modelo BCC orientado a <i>inputs</i>	37
Figura 13 – Fronteira de Produção dos Modelos CCR e BCC	38
Figura 14 – Método da Superficiência.....	39
Figura 15 – Fluxograma da metodologia a ser empregada.....	40
Figura 16 – <i>Inputs</i> e <i>Output</i> selecionados.....	46
Figura 17 - Potencial geral de melhorias para terminais de carvão.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais importadores e exportadores de determinados granéis sólidos em 2017 (porcentagem de toneladas transportadas)	14
Tabela 2 – <i>Ranking</i> de qualidade de infraestrutura portuária na ALC.....	19
Tabela 3 – Exportações dos Principais Granéis Sólidos	26
Tabela 4 – Movimentação brasileira por produto (em bilhões de dólares)	27
Tabela 5 – Movimentação de granéis sólidos no Brasil (em toneladas).....	27
Tabela 6 - Terminais de Minério de Ferro Selecionados	28
Tabela 7 – Terminais de Soja Selecionados	28
Tabela 8 – Terminais de Carvão Selecionados	28
Tabela 9 – Pesquisa Sistemática	41
Tabela 10– Resultado das Pesquisas Bibliográficas	42
Tabela 11 - Dados de Terminais de Minério de Ferro	48
Tabela 12 - Dados de Terminais de Soja	48
Tabela 13 - Dados de Terminais de Carvão Mineral	49
Tabela 14 – Resultados para terminais de minério de ferro	50
Tabela 15 – Índices de correlação para terminais mineraleiros	51
Tabela 16 – <i>Ranking</i> de terminais de minério	52
Tabela 17 – Potenciais de melhoria para o Terminal Marítimo Ponta Ubu	52
Tabela 18 – Potenciais de melhoria para terminais pouco eficientes	53
Tabela 19 – Resultados para terminais de soja	54
Tabela 20 – Correções de variáveis para Cotegipe e SFS	54
Tabela 21 – Proposta de Melhorias.....	55
Tabela 22 – <i>Ranking</i> de terminais de soja	55
Tabela 23 – Índices de interdependência para terminais de carvão	56
Tabela 24 – Resultados para terminais de carvão	56
Tabela 25 – <i>Ranking</i> de terminais de carvão	57
Tabela 26 – Prancha média (ton/hr) dos terminais.....	59
Tabela 27 - <i>Ranking</i> de todos os terminais	60
Tabela 28 – Quantidade de terminais melhores colocados por mercadoria.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Frequência de <i>inputs</i> adotados em outros estudos	44
Gráfico 2 – Frequência de <i>outputs</i> adotados em outros estudos	45

LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

ABTRA	Associação Brasileira de Terminais e Recintos Alfandegados
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CAF	Banco de Desenvolvimento da América Latina
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i> Constante Retorno de Escala
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> Análise Envoltória de Dados
DMU'S	<i>Decision Making Units</i> Unidades Tomadores de Decisão
LabTrans	Laboratório de Transporte e Logística da UFSC
MOL	<i>Mitsui O.S.K. Lines</i>
OEC	<i>The Observatory of Economic Complexity</i>
SFS	São Francisco do Sul
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Justificativas do trabalho	17
1.3.1	Econômica.....	17
1.3.2	Operacional	20
1.3.3	Acadêmico.....	21
1.4	Estrutura do trabalho.....	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Granel Sólido.....	23
2.2	Eficiência, Produtividade e Fronteira de Produção.....	29
2.3	Eficiência Portuária.....	31
2.4	DEA.....	32
2.4.1	Modelagem matemática	33
2.4.1.1	Modelo CCR.....	36
2.4.1.2	Modelo BCC.....	39
2.4.1.3	Método da Supereficiência em DEA.....	41
3	MÉTODO.....	40
3.1	Seleção dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	41
3.2	Seleções das DMUs e do <i>Software</i> de análise da eficiência.....	46
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	50
4.1	Cenário A	50

4.1.1	Terminais de Minério.....	50
4.1.2	Terminais de Soja.....	53
4.1.3	Terminais de Carvão.....	56
4.2	Cenário B.....	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	64

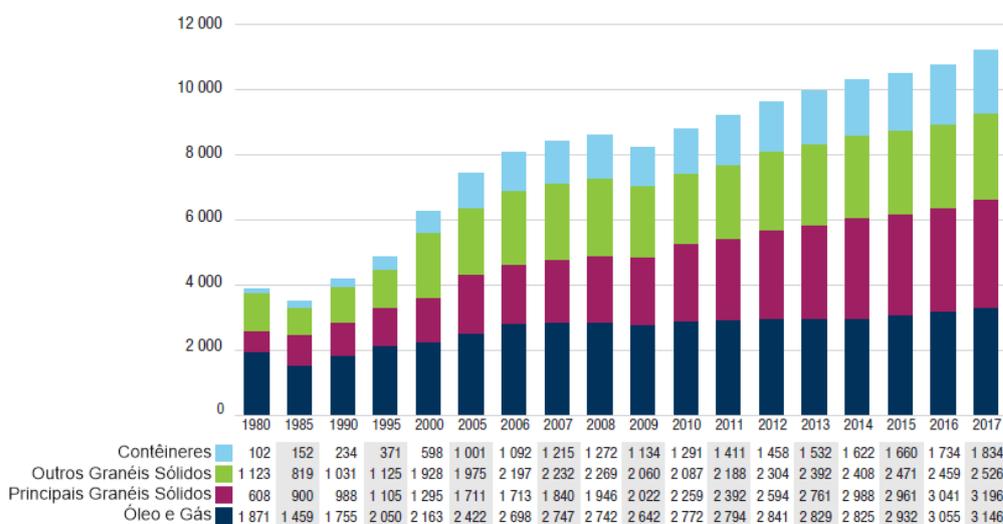
1 INTRODUÇÃO

A indústria marítima trouxe mudanças significativas no transporte de grandes volumes de carga, possibilitando a integração do comércio global. O avanço da tecnologia marítima implicou na redução de aproximadamente 60% no custo deste transporte comparando a década de 80 com o início do século 20. Entre 1990 e 2015, a taxa de crescimento do transporte marítimo, em volume de carga, aumentou em 151,5%, tendo como forças motrizes as tendências do PIB e do comércio mundial (LUNDGREN, 1996; PROFILLIDIS e BOTZORIS, 2019).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com a *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD, 2018), o volume de tráfego marítimo alcançou 10,7 bilhões de toneladas em 2017. A carga seca foi responsável por 7,6 bilhões de toneladas, sendo que os principais granéis sólidos (carvão, minério de ferro e grãos) atingiram 42,3% deste volume, seguido por cargas em contêineres (24,3%) e outros granéis (33,4%); o volume expresso em milhões de toneladas está exposto na Figura 1.

Figura 1 - Comércio Marítimo Internacional (milhões de toneladas)



Fonte: UNCTAD (2018)

De acordo com a Figura 1, percebe-se o crescente aumento de transporte de carga dos principais granéis sólidos; e assim, desperta-se um interesse por maior detalhamento no estudo sobre este tipo de carga, no qual se verifica uma média de crescimento anual de cerca de 5% no volume de toneladas comercializadas; totalizando um aumento acumulado no período de análise (1980 a 2017) de 426%.

O fluxo da movimentação de carga granel sólido varia de acordo com os diferentes produtos transportados; o comércio de minério de ferro alcançou um volume de 4,9 bilhões de toneladas em 2016; Austrália e Brasil obtiveram desempenhos significativos na exportação deste produto, totalizando, juntos, um percentual de 82% do volume exportado, sendo a China o principal importador (72%). Tratando-se de carvão mineral, o fluxo do tráfego marítimo parte principalmente da Indonésia e Austrália, representando respectivamente 32% e 30% do total exportado, com destino a China, Índia, Japão e Europa. Quanto ao transporte de grãos, os destaques de países exportadores são Estados Unidos, Rússia, Ucrânia e Argentina e os principais mercados compradores são Ásia e África (UNCTAD, 2018). A Tabela 1 expõe os percentuais de importações e exportações dos principais países relativos a estes produtos.

Tabela 1 - Principais importadores e exportadores de determinados granéis sólidos em 2017 (porcentagem de toneladas transportadas)

MINÉRIO DE FERRO			
Exportadores		Importadores	
Austrália	56%	China	72%
Brasil	26%	Japão	9%
África do Sul	4%	Europa	8%
Canadá	3%	Coreia do Sul	5%
Índia	2%	Outros	6%
Outros	9%		
CARVÃO MINERAL			
Exportadores		Importadores	
Indonésia	32%	China	18%
Austrália	30%	Índia	17%
Colômbia	7%	Japão	15%
Estados Unidos	7%	União Europeia	13%

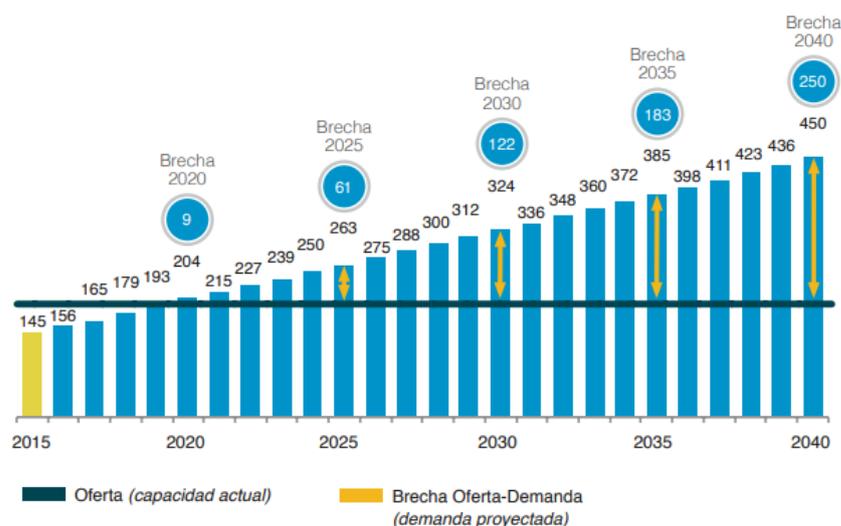
CARVÃO MINERAL			
Exportadores		Importadores	
África do Sul	7%	Coreia do Sul	12%
Canadá	2%	Taiwan	6%
Outros	15%	Malásia	3%
		Outros	16%
GRÃOS			
Exportadores		Importadores	
Estados Unidos	25%	Sudeste da Ásia	34%
Rússia	23%	África	21%
Ucrânia	15%	América Latina	20%
Argentina	11%	Ásia Ocidental	16%
União Europeia	9%	Europa	7%
Austrália	8%	Economias em Transição	2%
Canadá	7%		
Outros	2%		

Fonte: UNCTAD (2018)

No que diz respeito ao panorama das economias latino-americanas, segundo dados da Cepal em Serebrisky *et al.* (2015), o crescimento do comércio agrícola, transportado a granel ou em contêineres, tem impulsionado a expansão de terminais em países como Brasil, Argentina e México. Quanto ao Chile e ao Equador, os produtos responsáveis pela expansão portuária são o minério de ferro e o petróleo.

No Brasil, ao contrário do que acontece com outros tipos de carga a granel, o granel agroalimentar é movimento majoritariamente por portos públicos. Em longo prazo, a previsão de um grande crescimento da demanda por grãos, especialmente a soja, implicará em uma lacuna entre a demanda e a atual capacidade portuária brasileira, em milhões de toneladas, como se percebe através da Figura 2.

Figura 2 - Previsão do tráfego de grão no Brasil (milhões de toneladas)



Fonte: CAF - Banco de Desenvolvimento da América Latina (2016)

O mercado impõe seus desafios e exige economias cada vez mais competitivas, com maiores investimentos em infraestrutura, tecnologia e maiores índices de eficiência no transporte. Os portos da América Latina sofreram um processo de modernização tardio e, atualmente, são mantidos através de políticas governamentais e investimentos de capital privado. E assim, a América Latina precisa consolidar seus portos de terceira geração e progredir para obter portos de quarta geração (DURÁN, 2018).

A Associação Brasileira de Terminais e Recintos Alfandegados – ABTRA (2018) afirma que com o objetivo de alcançar o nível desejável na modernização de seus terminais portuários, o Brasil necessita avançar em autonomia gerencial, infraestrutura, performance operacional e eficiência de informações referentes ao mercado portuário.

Diante deste contexto, ressalta-se a importância de estudos voltados à eficiência de terminais portuários brasileiros. A fim de alcançar bons resultados e notoriedade no cenário mundial, é necessário identificar e analisar as possíveis variáveis da problemática de eficiência portuária e propor soluções adequadas. Assim, dada à expressividade do volume nacional/mundial movimentado de granel sólido, neste trabalho será enfatizado o estudo da eficiência relativa dos terminais de graneis sólidos do Brasil com o auxílio do Método Análise Envoltória de Dados (DEA).

1.2 OBJETIVOS

No intuito de propor melhorias para a problemática de eficiência portuária, este trabalho dispõe dos seguintes objetivos.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência dos principais terminais de granéis sólidos no Brasil com a utilização do método Análise Envoltória de Dados, a fim de contribuir com as autoridades portuárias no processo de tomada de decisão.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre a eficiência operacional de terminais de granéis sólidos;
- Identificar as principais variáveis influentes na eficiência destes terminais;
- Estudar a respeito dos modelos matemáticos da Análise Envoltória de Dados e diferentes aplicações deste método;
- Definir a metodologia de resolução do problema utilizando DEA;
- Realizar estudo de caso nos principais terminais de granéis sólidos brasileiros;
- Analisar os resultados e sugerir melhorias no intuito de auxiliar os gestores dos terminais no processo de tomada de decisão.

1.3 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO

1.3.1 Econômica

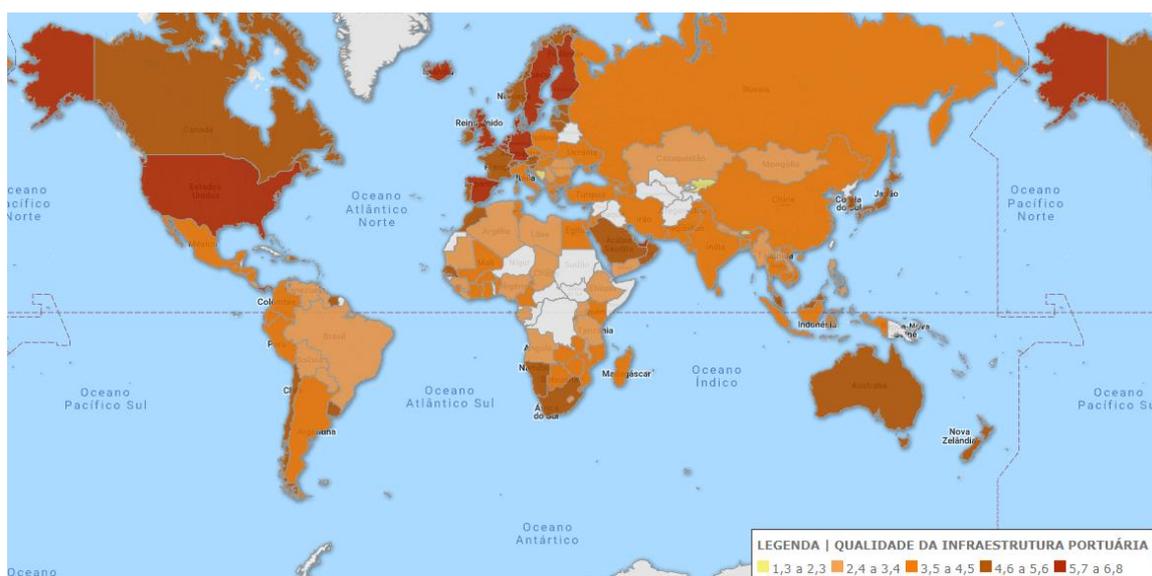
Segundo Magalhães (2015), a carga é objeto do transporte da mesma forma que mercadoria é objeto do comércio. Cada tipo de carga corresponde a tipo de navio especializado em termos de produto, funções e rotas marítimas, no intuito de

aumentar o desempenho de eficiência no transporte. A oferta de frete marítimo de granéis sólidos deve-se principalmente à demanda de carvão, minérios e grãos.

De acordo com Wilmsmeier *et al.* (2012), a América Latina vive um paradoxo entre ser um potencial fornecedor de commodities e deficiente no desenvolvimento de setores portuários, tais como, infraestrutura dos terminais, acessos náuticos e de sistemas multimodais. Profillidis e Botzoris (2019) afirmam que a infraestrutura é uma das forças motrizes para o desenvolvimento do transporte marítimo; tomando por base o trabalho de Tiscoski (2016), verifica-se que as infraestruturas existentes no porto bem como os equipamentos e operações, são importantes dados de entrada para a problemática de eficiência portuária.

Uma pesquisa elaborada pelo site *deepAsk* a partir dos dados do Banco Mundial – *The World Bank*, mostrou que a região da América Latina e Caribe ocupou a 14ª posição em qualidade de infraestrutura, entre 30 regiões analisadas, em 2013. A qualidade de infraestrutura portuária é medida através da percepção dos executivos de negócios quanto às instalações portuárias de seu país. O mapa mundial da qualidade de infraestrutura portuária (2013) está ilustrado na Figura 3, a partir do qual pode-se verificar que o aumento do grau de qualidade portuária corresponde à maior intensidade de cores.

Figura 3 - Mapa mundial da qualidade de infraestrutura portuário em 2013



Fonte: deepAsk (2013).

Através de dados mais recentes do *World Economic Forum* (2017-2018) - Fórum Econômico Mundial, Tabela 2, nota-se que há sensíveis diferenças quanto aos dez países da América Latina e Caribe (ALC) mais bem colocados em 2018, destacando-se Colômbia, Equador e Honduras que subiram mais de vinte posições no *ranking* de qualidade de infraestrutura nos terminais portuários, entre 2013 e 2018.

Tabela 2 – *Ranking* de qualidade de infraestrutura portuária na ALC

Ranking	País	2013	2018	
1	Panamá	4	6	↓
2	Jamaica	34	33	↑
3	Uruguai	47	34	↑
4	Chile	29	36	↓
5	Republica Dominicana	51	38	↑
6	Equador	67	44	↑
7	Honduras	83	58	↑
8	México	60	62	↓
9	Colômbia	103	77	↑
10	Trindade e Tobago	73	79	↓
17	Brasil	130	106	↑

Fonte: Fórum Econômico Mundial (2018)

No que diz respeito ao Brasil, o governo brasileiro afirma que, em 2017, as exportações e importações por mar foram equivalentes a 83,5% do total exportado e 73,6% do total de compras realizadas pelo país, porém as porcentagens da demanda por serviços marítimos não refletem na melhoria de eficiência do setor. Através da Tabela 1 também verifica-se a ausência do Brasil entre os dez países com maior qualidade de infraestrutura na América Latina e Caribe, ocupando a 17ª colocação nesta região em 2018. De acordo com o *Global Competitiveness Report 2018* - Relatório de Competitividade Global 2018, o Brasil ocupa a 106ª posição, entre os 137 países catalogados, no índice de eficiência de serviços portuários, obtendo uma pontuação de 3,1 (valor máximo igual a 7) – a análise é baseada em uma metodologia que integra as últimas estatísticas de organizações internacionais.

Em face deste cenário, ressalta-se a importância deste trabalho para a economia, permitindo que gestores logísticos, portuários e governamentais possam ter auxílio na identificação dos principais fatores desta deficiência e desta forma, realizar as mudanças e investimentos necessários para o desenvolvimento do setor.

1.3.2 Operacional

Segundo Oliveira e Cariou (2011), a eficiência portuária pode ser mensurada em termos econômicos e operacionais. Quanto à área operacional, os insumos importantes a serem considerados são comprimento dos berços de atracação, capacidade dos equipamentos de carga e descarga e capacidade de armazenamento, ou seja, estão ligados a infraestrutura dos terminais.

Ainda segundo os autores supracitados, em se tratando de terminais de graneis sólidos há uma ressalva a respeito dos equipamentos de operação que geralmente são semelhantes para as diferentes cargas sólidas a granel, no entanto há disparidade entre equipamentos de carga e descarga. Enquanto, o carregamento normalmente é realizado por correias transportadoras diretamente aos porões dos navios, o processo de descarga é realizado de maneira descontínua por equipamentos tipo *Grab* e ainda tratores nos porões para finalização das operações. Portanto, existem diferenças significativas nas taxas de transferências de terminais importadores e exportadores.

As variáveis relacionadas a políticas portuárias também exercem influência sobre a eficiência portuária só que de maneira não linear. Isto sugere que as regulações podem aumentar a eficiência, contudo, o excesso de burocracias pode reverter tais ganhos (CLARK, DOLLAR e MICCO, 2004).

No contexto da América Latina, os países sofrem com uma infraestrutura portuária precária e historicamente, houve ausência de políticas sólidas para superar esta problemática. No entanto, os países têm buscado reverter esta situação, como por exemplo, no Brasil onde a nova lei de portos (2013) busca reduzir problemas de congestionamento e aumentar a eficiência operacional concedendo a administração dos portos a operadores portuários mais eficientes, ampliando os investimentos de capital privado e modernizando os terminais. (SALIVARAS, 2014).

Sendo assim, ressaltam-se estudos que identifiquem variáveis externas e internas aos portos que afetam operação dos terminais de graneis sólidos brasileiros e, conseqüentemente a eficiência relativa a estes.

1.3.3 Acadêmico

Segundo Huang e Wang (2002), duas abordagens primárias têm sido utilizadas para mensurar os índices de eficiência na indústria: análises paramétricas e não paramétricas. Tais técnicas partem de conjuntos de hipóteses distintas a respeito das distribuições de probabilidade.

Tratando-se de eficiência no setor portuário, os métodos mais relevantes são: Análise Envoltória de Dados (não paramétrica) e as análises do tipo Fronteira Estocástica (paramétrica). A primeira consiste em uma eficiência relativa ente unidades produtivas, enquanto a segunda considera eficiência econômica e técnica das mesmas (FALCÃO e CORREIA, 2012).

Ainda de acordo com Falcão e Correia (2012), a metodologia de Fronteira Estocástica é paramétrica e estocástica, ou seja, descreve o modelo a partir de uma equação linear. A desvantagem deste método está na necessidade de uma maior quantidade de observações para obter significância estatística, além disso, permite avaliar apenas um produto. Enquanto que a DEA é não paramétrica e baseada em programação linear, permitindo múltiplos insumos e produtos simultaneamente. No entanto, os resultados de diferentes modelos não são comparáveis. As principais características dos métodos estão descritas na Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Diferenças entre DEA e Fronteira Estocástica

Análise Envoltória de Dados-DEA	Fronteiras Estocásticas - SFA
Metodologia não paramétrica	Metodologia paramétrica
Metodologia determinística	Metodologia estocástica
Não permite que a hipótese estatística seja comparada	Permite que a hipótese estatística seja comparada
Não realiza suposições na distribuição do termo da ineficiência	Realiza suposições na distribuição do termo da ineficiência
Não inclui o erro como termo	Inclui um termo composto do erro
Não exige a especificação de uma função	Exige a especificação de uma função
Pequeno número de variáveis	Pode confundir ineficiência caso o modelo tenha sido mal definido
Método: Programação linear	Método: Econométrico

Fonte: Falcão (2012)

No cenário nacional e internacional, percebe-se uma maior tendência para o uso do método DEA para o setor portuário. Diante da análise de artigos escritos em língua inglesa, nota-se uma maior utilização da Análise Envoltória de Dados para o estudo de terminais de contêineres. A partir disto, justifica-se o uso desta importante ferramenta para no auxílio de análises de eficiência de terminais de granéis sólidos. Além disso, este trabalho, através da utilização de modelagem matemática para resolução da problemática abordada, também busca oferecer contribuição acadêmica para a área de transporte marítimo que é uma das principais vertentes do curso de Engenharia Naval na Universidade Federal de Santa Catarina.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho contempla seis capítulos, incluindo este introdutório, que apresentou o panorama geral da temática de transporte marítimo de granéis sólidos. No segundo capítulo será abordado a Fundamentação Teórica a ser utilizada no desenvolvimento do estudo, inclusive os modelos matemáticos do DEA. Em seguida o capítulo três, de Método, discorrerá a respeito de como se desenvolveu o estudo e os processos de tomada de decisão relativos às variáveis, unidades produtivas e software. O quarto capítulo abordará o estudo de caso e aplicação de diferentes cenários com terminais brasileiros. No quinto capítulo, serão apresentados os resultados encontrados no estudo de caso e por fim, no sexto capítulo, expostas as considerações finais e propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos teóricos utilizados no desenvolvimento deste trabalho. São descritos os conceitos de granel sólido, eficiência, produtividade, eficiência portuária e da Análise Envoltória de Dados que servirão de base fundamental para elaboração do presente estudo.

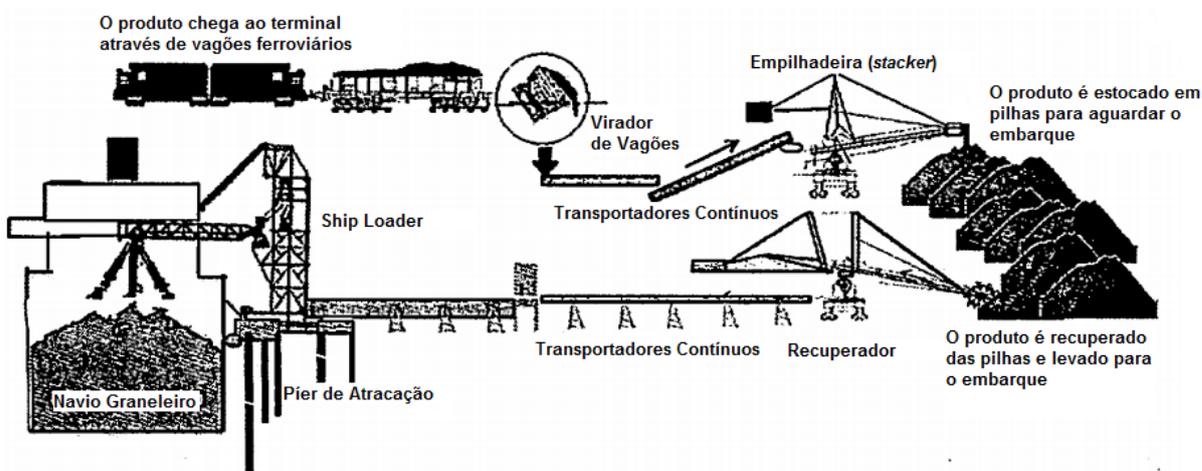
2.1 GRANEL SÓLIDO

Segundo Magalhães (2011), os granéis sólidos são mercadorias transportadas sem embalagem, lançadas diretamente nos porões dos navios por gravidade através de carregadores mecânicos ou *shiploaders*. A quantidade de carga carregada é realizada por pesagem ou através da verificação de arqueação da embarcação.

Ainda de acordo com o autor supracitado, a Figura 5 apresenta o diagrama esquemático de um terminal de embarque de minérios e carvão. No qual se destacam as fases operacionais seguintes:

1. Através de um virador de vagões, os produtos oriundos do transporte ferroviário são descarregados e levados por correias transportadoras para pilhas de estocagem;
2. Um empilhador tipo *Staker* auxilia a operação de estocagem em pilhas;
3. Na operação de carregamento das embarcações, a mercadoria é removida das pilhas com um recuperador tipo *Reclaimer* e lançada em correias transportadoras até o local de embarque;
4. Então o produto é lançado nos porões do navio através dos carregadores *shiploaders*.

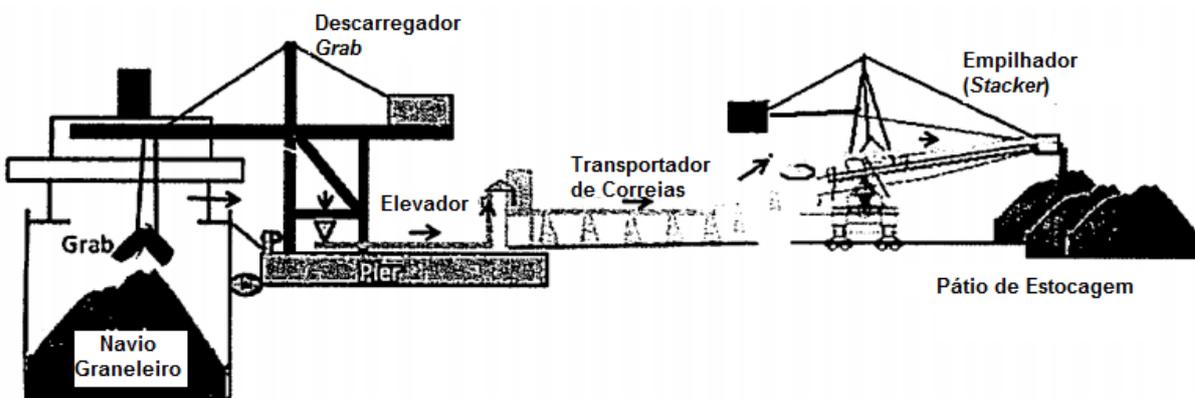
Figura 5 – Diagrama esquemático do embarque de minérios e carvão



Fonte: Magalhães (2011)

As operações de descarregamento, Figura 6, ocorrem no sentido inverso do diagrama, contudo utilizando equipamentos de descarga do tipo *grab*, caçambas automáticas ou descarregadores contínuos.

Figura 6 – Diagrama esquemático do desembarque de minérios e carvão



Fonte: Magalhães (2011)

Vianen, Ottjes e Lodewijks (2013), dividem os terminais de granéis sólidos entre exportadores e importadores, nos quais os países produtores ou com maiores reservas minerais tendem a suprir a demanda de países que necessitam destes produtos base.

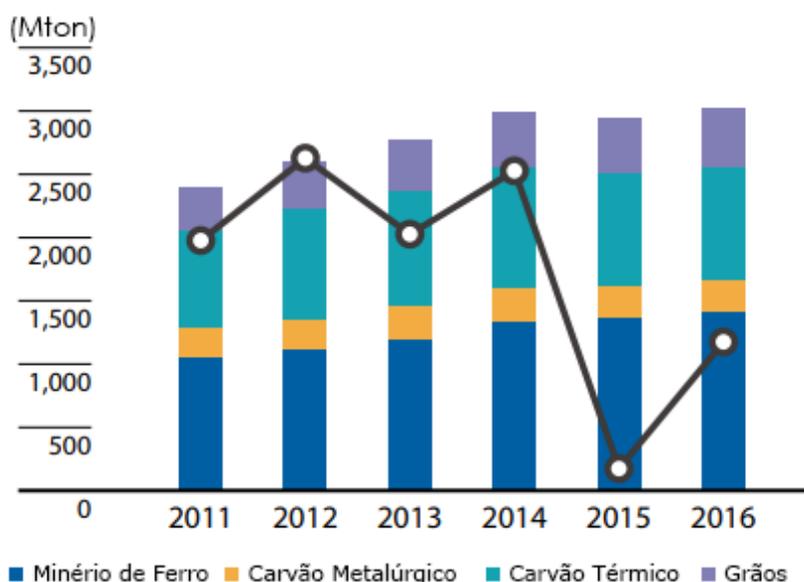
A respeito do sentido de movimentação, embarque ou desembarque, existem diferenças significativas quanto à prancha média (ton/hr) e tempo de

operação, já que geralmente encontram-se operações de carregamento contínuas e de descarregamento descontínuas.

De acordo com a UNCTAD, o volume de tráfego marítimo das principais *commodities* a granel (carvão, minério de ferro e grãos) atingiu 2,3 bilhões de toneladas em 2017. A Figura 77 mostra a proporção dos diferentes granéis sólidos em milhões de toneladas.

Segundo a *Mitsui O.S.K. Lines* (MOL, 2017), o minério de ferro correspondeu ao maior volume comercializado dentre os granéis sólidos em 2016, atingindo 48% do total, seguido pelo carvão mineral (coque e térmico) com 35% e grãos que corresponderam a 17%.

Figura 7 - Comércio Mundial dos Principais Granéis Sólidos (milhões de toneladas)

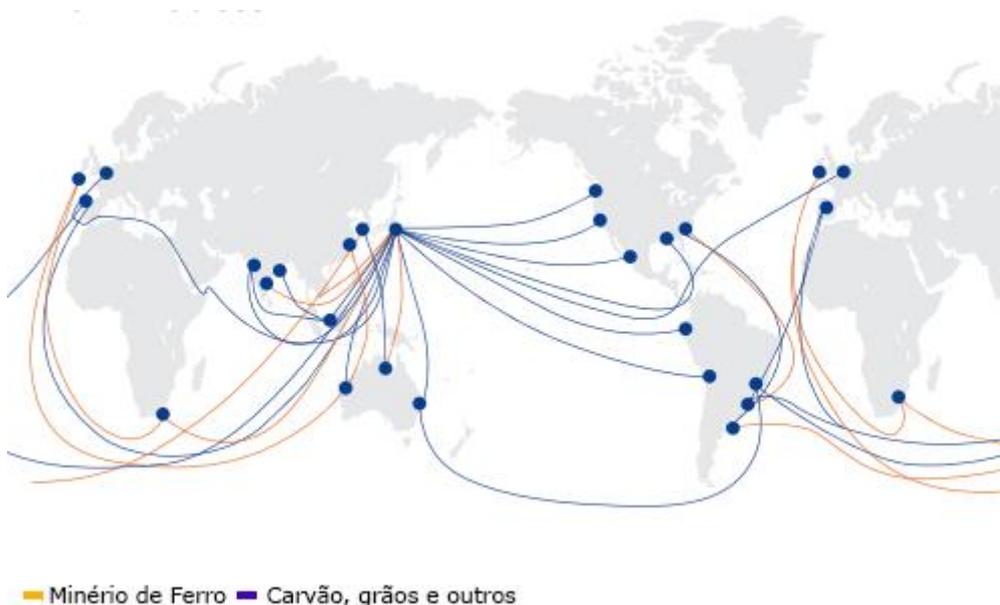


Fonte: MOL (2017)

O carvão mineral continua sendo uma importante fonte de energia, e apesar de apelos ambientais, a movimentação via mar apresenta números expressivos. O maior volume do transporte navega pelo Oceano Pacífico e concentra-se na Ásia e Oceania, quanto às rotas pelo Oceano Atlântico destacam-se os países exportadores Colômbia e África do Sul e os importadores incluem Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha. Tratando-se das rotas marítimas de minério de ferro, as mesmas têm origem em países produtores como Brasil e Austrália em direção a China, majoritariamente. Já o transporte marítimo de grãos parte dos Estados

Unidos, Rússia e Argentina para Ásia e África. A Figura 8 ilustra as principais rotas marítimas utilizadas no tráfego de granéis sólidos.

Figura 8 - Principais Rotas Marítimas de Granéis Sólidos



Fonte: MOL (2013)

A América do Sul é um importante exportador de *commodities*. Segundo dados do *The Observatory of Economic Complexity* (OEC) – Observatório da Complexidade Econômica, em 2017, os países sul americanos foram responsáveis por cerca de 54,4% das exportações de soja, 23,5% das exportações de minério de ferro e 6,3% das exportações de carvão no mundo, em bilhões de dólares. Em termos econômicos, destaca-se a soja como o granel sólido mais relevante aos cofres sul-americanos, rendendo-lhes 31,6 bilhões de dólares, em 2017, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Exportações dos Principais Granéis Sólidos

Produto	Total de Exportações no Mundo (em bilhões)	Total de Exportações pela América do Sul (em bilhões)	% América do Sul em relação ao mundo
Soja	58,10	31,60	54,39
Minério de Ferro	93,00	21,90	23,55
Carvão	122,00	7,74	6,34

Fonte: baseado em OEC (2017)

Ao realizar a análise destes dados para cada mercadoria apresentada na Tabela 4, identifica-se o Brasil como um destaque mundial nas exportações de soja e minério de ferro, sendo o principal representante sul-americano, correspondendo, respectivamente, a 45% e 22% do total em bilhões de dólares exportados. Quanto à exportação de carvão mineral, o país apresenta valores mais significativos nas importações.

Tabela 4 – Movimentação brasileira por produto (em bilhões de dólares)

Produto	Total de Exportações (em bilhões)	Total de Importações (em bilhões)	% em relação ao mundo
SOJA	26,15	-	45,00%
MINÉRIO DE FERRO	20,46	-	22,00%
CARVÃO	-	2,93	2,40%

Fonte: Baseado em OEC (2017)

No que diz respeito às movimentações brasileiras de granéis sólidos, em toneladas, segundo dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ (2018), o minério de ferro obteve 67% em relação ao total de granéis sólidos embarcados no Brasil, enquanto a soja correspondeu a 15%. Quanto aos produtos desembarcados no país, o carvão correspondeu a 20% dos granéis sólidos, conforme a Tabela 55.

Tabela 5 – Movimentação de granéis sólidos no Brasil (em toneladas)

Produto	% do Total Embarcado	% do Total Desembarcado
Minério de Ferro	67%	-
Soja	15%	-
Carvão Mineral	-	20%
Outros Granéis	18%	80%

Fonte: Baseado em ANTAQ (2018)

Baseando-se nestes dados, a pesquisa dos terminais brasileiros pôde ser norteada; na qual foram selecionados os principais terminais de granéis sólidos do país a partir das informações do Anuário da ANTAQ de 2018, no qual respeito ao número de toneladas movimentadas no ano de 2018. As Tabelas 6, 7 e 8

correspondem respectivamente aos principais terminais movimentadores de minério de ferro, soja e carvão mineral.

Tabela 6 - Terminais de Minério de Ferro Selecionados

TERMINAL	ESTADO	CARREGAMENTO ANUAL (Mton/ano)
Ponta da Madeira	MA	197,09
Tubarão	ES	96,73
Itaguaí	RJ	48,46
Ilha Guaíba	RJ	41,18
Porto Sudeste do Brasil	RJ	10,64
Porto Do Açú	ES	3,22
Porto Gregório Curvo	MS	2,47
Granel Química Ladário	MS	0,71
Terminal Marítimo Ponta Ubu	ES	0,08

Fonte: Autora (2019)

Tabela 7 – Terminais de Soja Selecionados

TERMINAL	ESTADO	CARREGAMENTO ANUAL (Mton/ano)
Santos	SP	15,57
Paranaguá	PR	15,36
Itaqui	MA	8,54
Rio Grande	RS	6,56
São Francisco Do Sul	SC	5,48
Terminal De Tubarão - TPD	ES	4,08
Terminal Portuário Cotegipe	BA	3,78
Terbian - Terminal Bianchini	RS	3,59
Tiplam	SP	3,30
Terminal Graneleiro Hermasa	AM	2,71

Fonte: Autora (2019)

Tabela 8 – Terminais de Carvão Selecionados

TERMINAL	ESTADO	CARREGAMENTO ANUAL (Mton/ano)
Terminal De Praia Mole	ES	10,40
Terminal Portuário Do Pecém	CE	5,17
Ternium Br	RJ	3,08
Itaguaí (Sepetiba)	RJ	2,44
Itaqui	MA	0,64
Vila Do Conde	PA	0,57
Vitória	ES	0,40
Porto Do Açú Operações S.A.	RJ	0,24
Imbituba	SC	0,10

Fonte: Autora (2019)

A partir do panorama geral dos granéis sólidos é possível prosseguir para a verificação do conceito e cálculo de eficiência, bem como analisar as variáveis que exercem influência na problemática do transporte marítimo.

2.2 EFICIÊNCIA, PRODUTIVIDADE E FRONTEIRA DE PRODUÇÃO

Para Grossman (2019), o conceito de eficiência representa a quantidade ótima de recursos que um sistema requer para atingir um dado número de saída. As organizações eficientes são aquelas que alocam da melhor maneira seus recursos e respondem aos seus cenários de forma ideal.

De acordo com Sobral *et al.* (2013), eficiência é a capacidade de realizar as operações minimizando a utilização de recursos, desempenhando corretamente as atividades sem que o prejuízo pelo desempenho seja elevado. Eficiência é a relação ótima entre os resultados atingidos e os recursos consumidos.

Koopmans (1951) foi o primeiro a propor uma medida do conceito de eficiência, ou seja, a escolha de um conjunto de pontos de atividades ideal dentro das limitações impostas. Debreu (1951) propôs um coeficiente que expressasse a relação de *input/output* e pudesse mensurar a distância do valor real ao valor ótimo de um dado conjunto.

Farrell (1957) foi um dos pioneiros a compor a fundamentação teórica para estudar e medir a eficiência. O autor divide a eficiência em técnica e alocativa. A primeira mede o desempenho de uma unidade produtiva a partir da capacidade de produção máxima de um determinado conjunto de insumos, já a segunda refere-se à capacidade de uma organização de encontrar as proporções ótimas de *input* e *output* adequadas aos atuais preços.

Através da generalização do modelo de Farrell foi possível a criação do método da Análise Envoltória de Dados abordado no presente trabalho e, baseado no mesmo, encontrar as eficiências produtivas e técnicas dos terminais analisados.

A eficiência de produção pode ser medida a partir da comparação dos valores observados e dos valores ótimos de *input* e *output*. Sendo assim, é necessário confrontar os valores obtidos de *output*, a partir dos *inputs* consumidos, com os valores dos potenciais máximos de *outputs*, ou observar os valores dos mínimos *inputs* requeridos e comparar com os *inputs* que foram utilizados, mantendo

os *outputs* constantes, ou ainda uma combinação dos dois casos (LOVELL *et al.*, 1985).

A Análise Envoltória de Dados decompõe a eficiência produtiva em: eficiência de escala e eficiência técnica. Segundo Belloni (2000), “a eficiência de escala, é aquela associada a variações da produtividade decorrentes de mudanças na escala de produção, e a eficiência técnica, associada à habilidade gerencial da organização”.

O conceito de produtividade corresponde à relação entre os produtos e recursos utilizados. É também utilizada no âmbito operacional, definida a partir da relação entre entradas e saídas de um sistema (CATELLI, 1999). E, de acordo com Kassai (2002), difere de eficiência no sentido que a eficiência expressa uma relação ótima entre aquilo que foi consumido e o que foi produzido.

Segundo Cooper *et al.* (1999), as medidas de produtividade podem ser classificadas em: parcial e global. Nas medidas de produtividade parcial, considera-se a relação entre o produto final e os seus insumos, separadamente. Nas de produtividade global, há uma combinação de fatores em relação ao produto final.

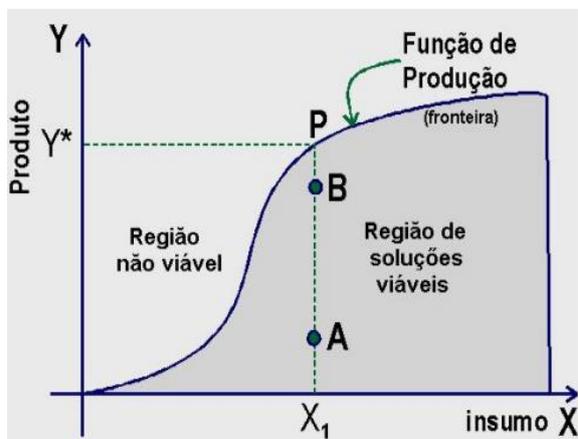
De acordo com Valente (2008), a conversão de todos os insumos em uma única unidade é mais completa e abrangente, porém, ao mesmo tempo, se torna muito complexa ao se utilizar dezenas de produtos finais e diversos insumos, e isto é o que ocorre avaliando o caso de um sistema de transporte. Diferentemente dos transportes ferroviário e rodoviário, nos quais os problemas como, capacidade e qualidade, se distribuem ao longo das vias, os maiores problemas do sistema marítimo se concentram nos portos; em virtude de as embarcações possuírem grande capacidade de carga e fluxo contínuo durante o trajeto, mas necessariamente necessitarem de intermodalidade.

O cálculo de produtividade global é complexo justamente por haver muitos elementos envolvidos, na problemática de transporte marítimo, por exemplo, existem variáveis quanto à infraestrutura, equipamentos ou condições climáticas. Sob uma ótica “macro”, notam-se variáveis em relação à intermodalidade e para realizar uma análise global seria preciso verificar a cadeia logística como um todo.

Quanto ao significado de fronteira de produção, de acordo com Førsund (1980), primeiramente é necessário analisar o conceito de função de produção. A mesma fornece o máximo possível de *output* que pode ser produzido a partir de

determinados conjuntos de entrada. A palavra fronteira é aplicada para estabelecer um limite possível aos intervalos observado, delimitando máximos ou mínimos.

Figura 9 - Fronteira de Produção



Fonte: Novaes (2006)

Segundo Novaes (2006), a função de produção busca medir o máximo desempenho possível dadas as condições de entrada existentes. Através da Figura 9, pode-se verificar a aplicação deste conceito a partir de um recurso e um produto. Para um valor X_1 de insumo, os pontos A, B e P apresentam diferentes índices de desempenhos, sendo que A é ponto menos eficiente porque com a mesma quantidade de insumo produz menos produtos e P é o mais eficiente, pois supera os demais pontos, produzindo o maior nível de produto. P está localizado na fronteira de produtividade e, unindo todos os pontos da fronteira através de uma curva, obtém-se a função de produção de um determinado conjunto. Os pontos sobre a curva serão considerados eficientes.

Kumar e Russell (2002) propuseram um método de construção de fronteira de produção usando os dados disponíveis (não paramétrico), sem impor suposições sobre o processo.

2.3 EFICIÊNCIA PORTUÁRIA

De acordo com Figueiredo (2001), um porto pode melhorar a sua eficiência à medida que minimiza tempo de permanência de uma embarcação, ou seja, diminui os tempos de espera para atracação, de operação e de liberação do navio. A

eficiência portuária também é medida segundo a performance operacional, infraestrutura e segurança das operações.

Segundo Sánchez (2006), as principais medidas de produtividade portuária se dão em termos do tempo total que a embarcação permanece no porto e do número de toneladas de carga transferido por hora ou dias para as embarcações. O tempo de estadia de um navio depende do volume de carga, das instalações disponíveis e da composição da carga.

Para Schott e Lodewijks (2007), os fatores operacionais que podem prejudicar a produtividade de um terminal de granel sólido são o *layout*, as características dos equipamentos utilizados para operações de carga e descarga e capacidade de armazenamento.

Oliveira e Cariou (2011), afirmam que os serviços a serem considerados na análise da eficiência portuária são serviços de alocação de embarcações, de carga/descarga e de armazenamento. As variáveis de entrada relacionadas a estes serviços, conforme o trabalho dos mesmos autores, foram calado, comprimento de berço, capacidade de armazenamento e taxas de descarga, tendo como saída a produção anual em toneladas.

O trabalho de Vianen, Ottjes e Lodewijks (2013) ressalta a importância do dimensionamento de pátios de estocagem para terminais mineraleiros, pois afirmam que uma pequena capacidade de armazenagem resulta no aumento do tempo de espera de navios, e grandes dimensões de pátio dificultam a recuperação do investimento.

Geralmente associa-se a eficiência portuária apenas com nível tecnológico ou com volume total de tráfego nos portos. Mas, os fatores organizacionais são fundamentais para eficiência de terminais portuários. E assim, é importante efetuar análises para diferentes produtos na medida em que se aumentam os insumos (MERK e DANG, 2012).

2.4 DEA

A Análise Envoltória de Dados é um método matemático fundamentado na lógica de programação linear que possibilita comparar eficiências entre diferentes unidades produtivas (neste estudo, terminais portuários), utilizando critérios de entrada e de saída. A partir deste modelo matemático, pode-se alcançar um

percentual de eficiência para cada unidade produtiva e analisar quais delas servem de parâmetros e quais ainda podem ser otimizadas (CHALRÉO, 2015).

Segundo Novaes (2006), o DEA é uma abordagem não paramétrica, pois não requer, previamente, a escolha de uma função matemática. As DMUs (*Decision Making Unit*) são as unidades tomadoras de decisão e representam empresas, organizações ou setores a serem comparados na análise. Para Kassai (2002) a vantagem deste método está no fato dele prescindir a atribuição de pesos e através da programação linear, determinar quais DMUs serão utilizadas para construção da fronteira produtiva e servirão de parâmetro de *benchmarking*.

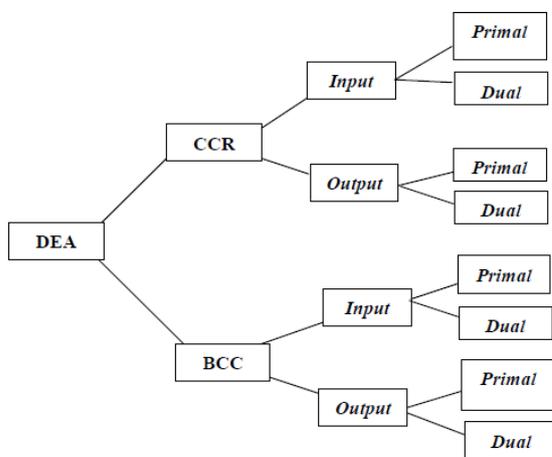
Segundo Cullinane (2010) a origem desta técnica encontra-se no trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), que possibilitou a utilização de múltiplos *inputs* e *outputs*, permitindo a construção de fronteira de produção sem uma referência pré-definida, além de resultar no Modelo CCR. Mais tarde, em 1984, Banker, Charnes e Cooper, desenvolveram o Modelo BCC que permitiu retornos variáveis ao Método DEA.

Estes dois modelos, CCR e BCC, são os mais clássicos e difundidos. O primeiro fornece valores de retorno com escala constante, ou seja, as variações dos insumos influem em variações proporcionais nos produtos e, obtém-se um indicador de eficiência produtiva avaliando a eficiência global. Já no segundo modelo, os retornos deixam de ser proporcionais e passam a ser convexos, permitindo que baixos valores de *inputs* resultem em altos retornos nos *outputs*. O BCC fornece um indicador de eficiência técnica (KASSAI, 2002).

2.4.1 Modelagem matemática

Segundo Mariano, Almeida e Rebelatto (2006), as modelagens permitem escrever um modelo de diferentes formas. Como já apresentado, o DEA possui dois modelos clássicos, CCR e BCC, que podem ser orientados a partir de *inputs* ou *outputs*. Segundo Coelli (2005), a orientação por *input* identifica a ineficiência como a proporção de *input* a ser reduzida, mantendo os *outputs* constantes. Enquanto a orientação por *output* busca maximizar as saídas mantendo as entradas constantes. A modelagem DEA ainda possui abordagens primal e dual, nas quais o valor do resultado da função objetivo é o mesmo. A Figura 10 expõe os tipos de modelo e suas respectivas orientações.

Figura 10 - Tipos de Modelo e diferentes abordagens da DEA



Fonte: Mariano, 2006.

A explicação da modelagem matemática dos diferentes modelos e orientações DEA, nas seções a seguir, é baseada nos trabalhos de Mello *et al.* (2005), Guerreiro (2006) e Mariano *et al.* (2006).

2.4.1.1 Modelo CCR

O modelo criado por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978 (CCR) também é conhecido como CRS (Constante Retorno de Escala, traduzido da sigla em inglês). Segundo Mello *et. al* (2005), a eficiência deste modelo pode ser calculada a partir da razão entre a soma ponderada dos *outputs* e a soma ponderada dos *inputs*:

$$Eficiência = \frac{\text{Soma ponderada dos produtos}}{\text{Soma ponderada dos recursos}}$$

A formulação matemática é descrita pela função objetivo (1), na qual as variáveis u e v correspondem aos pesos atribuídos a cada *input* e *output*, respectivamente. O modelo DEA permite que cada DMU determine o valor dos determinados pesos, u_j e v_i , no intuito de maximizar o resultado, porém a atribuição é restrita a uma razão menor ou igual a um, conforme a restrição (2), sendo u_j e v_i maiores ou iguais à zero (3).

$$Max\ Effo = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k \quad (2)$$

$$V_i, U_j \geq 0, \forall i, j \quad (3)$$

Onde:

Effo – eficiência da DMU₀;

u_j, v_i – pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

x_{ik}, y_{jk} – *inputs* i e *outputs* j da DMU_k;

x_{i0}, y_{j0} – *inputs* i e *outputs* j da DMU₀;

Este equacionamento matemático é definido como um problema de programação fracionária, sendo necessário igualar o denominador da função objetivo a uma constante, usualmente igual a um, a fim de solucioná-lo com o uso de programação linear. Deste modo, a nova função objetivo é descrita em 4 (Modelo Multiplicadores), aplicando as restrições de linearidade (5) e de eficiência menor ou igual a 1 (6), sendo u_j e v_i respeitando a restrição de não negatividade (7).

$$Max\ Effo = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \quad (4)$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (6)$$

$$V_i, U_j \geq 0, \forall i, j \quad (7)$$

No qual:

Effo – eficiência da DMU₀;

u_j, v_i – pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

x_{ik}, y_{jk} – *inputs* i e *outputs* j da DMU_k;

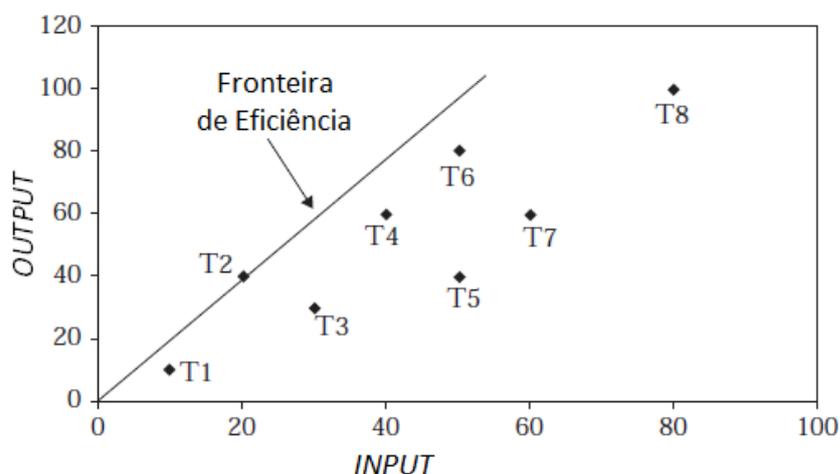
x_{i0}, y_{j0} – *inputs* i e *outputs* j da DMU₀;

$r,$

s – correspondem aos últimos *inputs* i e *outputs* j ;

Portanto, exemplificando graficamente através da Figura 10, para a DMU T3 se tornar eficiente ela precisa reduzir seus recursos ou aumentar seus produtos. Percebe-se também através da figura que a fronteira de eficiência corresponde a uma reta e sendo assim os retornos são proporcionais (constantes).

Figura 11 – Modelo CCR



Fonte: Cullinane (2009)

O modelo apresentado até aqui é denominado Primal, em programação linear, para cada modelo Primal associa-se um modelo Dual. O método DEA possui os modelos Multiplicadores e Envelope com orientações a *inputs* e *outputs*, mas as análises presentes neste trabalho se concentrarão na orientação por *inputs* dos modelos CCR e BCC.

2.4.1.2 Modelo BCC

O modelo desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) utiliza a premissa da convexidade para obter retornos de escala variáveis na fronteira de eficiência. Guerreiro (2006) afirma que o modelo BCC “considera que um acréscimo no *input* poderá promover um acréscimo no *output*, não necessariamente proporcional, ou até mesmo um decréscimo”.

Considerando a modelagem matemática no Modelo dos Multiplicadores a disparidade com o modelo CCR se dá a partir da presença da variável u_* (8) que representa o fator variável de escala. Esta variável não atende a restrição de positividade e pode, portanto, apresentar valores negativos (11). A restrição (9) traz a linearidade ao modelo e a (10) faz com que a fronteira de eficiência respeite o limite de 100%.

$$\text{Max } Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u_* \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + u_* \leq 0, \forall k \quad (10)$$

$$v_i, u_j \geq 0, u_* \in \mathfrak{R} \quad (11)$$

No qual:

Eff_0 – eficiência da DMU₀;

u_j, v_i – pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

x_{ik}, y_{jk} – *inputs* i e *outputs* j da DMU_k;

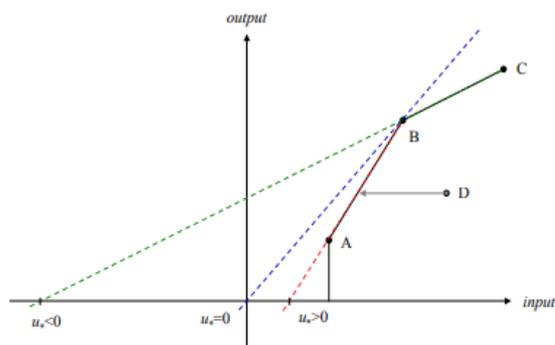
x_{i0}, y_{j0} – *inputs* i e *outputs* j da DMU₀;

r, s – correspondem aos últimos *inputs* i e *outputs* j ;

u_* – fator variável de escala

A Figura 122 ilustra o modelo orientado a *outputs*, na qual percebe-se os fatores de escala (u_*).

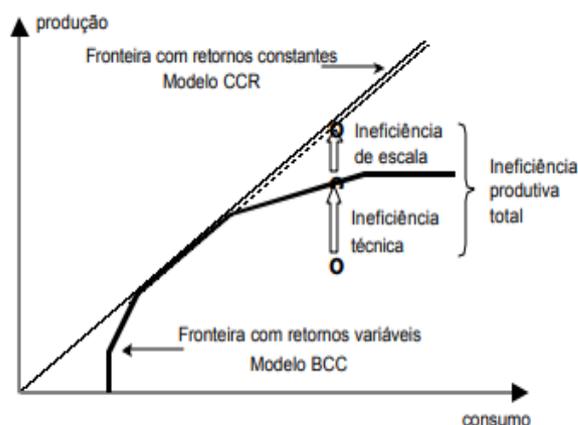
Figura 12 - Modelo BCC orientado a *inputs*



Fonte: Mello (2005)

A diferença entre os modelos CCR e BCC, de acordo com Belloni (2000), é o que o primeiro obtém um indicador de eficiência produtiva, enquanto o desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper obtém um indicador de eficiência técnica isolando da ineficiência produtiva a componente associada à ineficiência de escala e, portanto, apresenta a ineficiência puramente técnica, conforme a ilustração da Figura 133.

Figura 13 – Fronteira de Produção dos Modelos CCR e BCC



Fonte: Belloni (2000)

A compreensão destas definições permite o desenvolvimento do próximo capítulo, referente aos procedimentos de seleção de recursos, produtos e DMUs a serem utilizadas neste trabalho, bem como seus devidos critérios de escolha.

2.4.1.3 Método da Superficiência em DEA

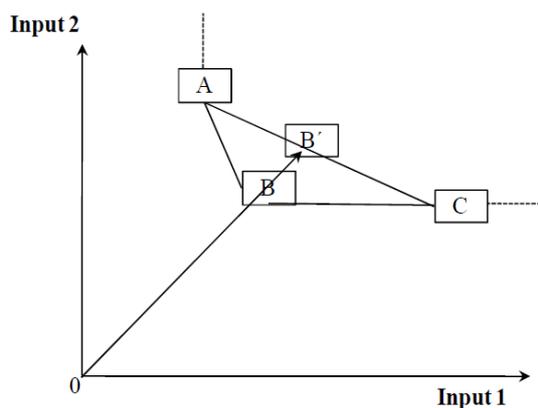
O método da Superficiência foi desenvolvido pelos autores Adersen e Petersen, em 1993, para promover eventuais desempates entre unidades produtivas eficientes nas análises DEA, sem causar alterações na ordem das DMUs ineficientes (LETA *et al.*, 2005).

A Superficiência permite identificar dentre as unidades eficientes o quanto pode-se aumentar ou diminuir os *inputs* e *outputs*, desde que as mesmas permaneçam eficientes face às demais. Desta forma, efetua-se um *ranking* entre aquelas “mais eficientes” (100% de eficiência). Uma dada unidade em avaliação passa a ser avaliada sob a ótica de uma nova fronteira da qual não fazia parte

durante a primeira análise de eficiência, comparando-a as outras DMUs eficientes (LOLLI, 2014; VALENTE, 2009).

Por exemplo, a Figura 14 ilustra o três DMUs eficientes, A, B e C, de acordo com o modelo CCR orientado a *inputs*. Se B for retirada da análise, cria-se uma nova fronteira de eficiência conectando A a C e, a supereficiência de B será da pela razão OB'/OB maior que um.

Figura 14 – Método da Supereficiência



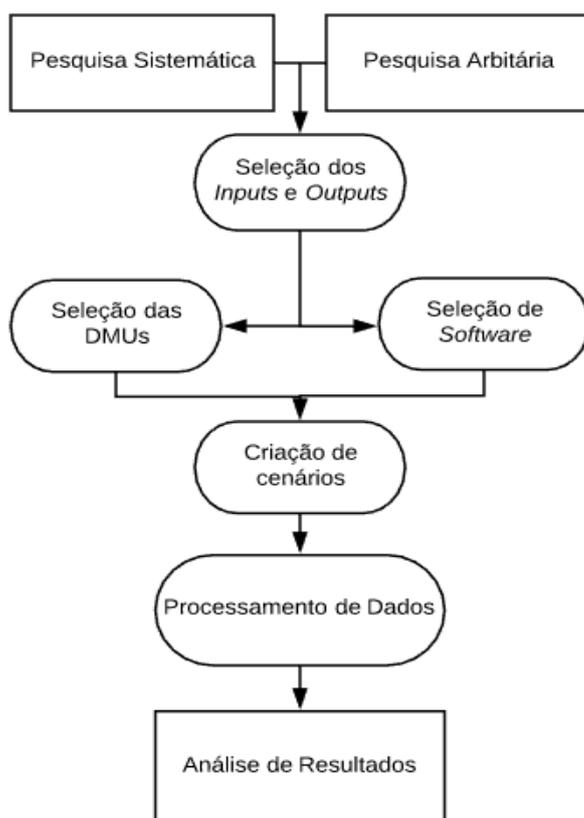
Fonte: Lovell e Rouse (2003)

A compreensão destas definições permite o desenvolvimento do próximo capítulo, referente aos procedimentos de seleção de recursos, produtos e DMUs a serem utilizadas neste trabalho, bem como seus devidos critérios de escolha.

3 METODOLOGIA

A partir dos conceitos de eficiência e do método DEA, torna-se possível dar sequência ao desenvolvimento deste trabalho. Este capítulo irá discorrer a respeito da metodologia utilizada para a resolução da problemática abordada. Iniciando com a seleção dos *inputs* e *outputs* que exercem influência na produtividade de terminais de granéis sólidos. A seção seguinte contará com a seleção dos terminais de granéis sólidos referência na América Latina, bem como os respectivos dados de entrada reais das DMUs a serem estudadas. Na parte final do capítulo será realizada a seleção do software a ser utilizado bem como uma breve explicação da modelagem utilizada pelo mesmo. O fluxograma da metodologia aplicada está exposto na Figura 155, o qual será detalhado na sequência.

Figura 15 – Fluxograma da metodologia a ser empregada



Fonte: Autora (2019)

3.1 SELEÇÃO DOS *INPUTS* E *OUTPUTS*

A seleção dos *inputs* e *outputs* a serem utilizados neste trabalho foi determinada a partir de uma pesquisa bibliográfica baseada em trabalhos anteriores para averiguar quais os dados de entrada e de saída são usualmente escolhidos neste tipo de estudo.

A técnica de pesquisa bibliográfica utilizada primeiramente foi a de revisão descritiva ou sistemática que é realizada a partir da coleta, compilação e sistematização de dados numéricos que indicam a frequência dos tópicos e métodos encontrados na literatura existente (PARÉ *et. al*, 2013).

A plataforma de dados utilizada para esta técnica foi a dos *Periódicos da Capes*. Inicialmente, as palavras-chaves pesquisadas foram: "*data envelopment analysis*" and "*port efficiency*", o que resultou em 978 trabalhos publicados, no entanto, majoritariamente, as publicações estavam voltadas a terminais de contêineres. Assim, no intuito de direcionar a pesquisas para a área de granéis, inseriram-se as seguintes palavras-chave: "*data envelopment analysis*" and "*bulk port efficiency*". A seleção dos artigos foi determinada visando análises de eficiência operacional dos portos, excluindo trabalhos que utilizassem DEA para fins não relacionados ao setor portuário e trabalhos que fossem exclusivos de outras cargas. Portanto, a seleção final contou com 11 publicações, conforme a Tabela 9, que utilizaram entre suas DMUs terminais de granéis sólidos, exclusivamente ou não.

Tabela 9 – Pesquisa Sistemática

Pesquisa	Filtro	Resultados	Seleção
" <i>data envelopment analysis</i> " and " <i>port efficiency</i> "	Idiomas: Inglês, Espanhol e Português	978	11
" <i>data envelopment analysis</i> " and " <i>bulk port efficiency</i> "	Idiomas: Inglês, Espanhol e Português	234	

Fonte: Elaborada pela Autora (2019)

Posteriormente, reconhecendo a dificuldade de encontrar trabalhos que selecionassem, exclusivamente, terminais de granéis sólidos realizou-se a técnica de pesquisa arbitrária que é definida por Alves (2019) como "[...] uma busca

arbitrária, não sendo pré-determinada e específica, e que não busca a generalização ou compilação de publicações acerca do tema”.

A seleção final através das duas técnicas de pesquisa resultou na avaliação de dezessete trabalhos, dentre os quais apenas seis pesquisas foram realizadas exclusivamente em portos de graneis sólidos. A Tabela 10 indica os autores selecionados, bem como os respectivos dados de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) utilizados em suas publicações.

Tabela 10– Resultado das Pesquisas Bibliográficas

Autores (ano)	Inputs	Outputs
BONILLA <i>et al.</i> (2004)	Comprimento do berço Número de Guindastes Despesas Mão de Obra	Equipamentos disponíveis
PJEVČEVIĆ <i>et al.</i> (2010)	Área de Armazém Comprimento do berço Número de Guindastes	Carregamento Anual
OLIVEIRA e CARIOU (2011)	Profundidade do Canal Comprimento dos berços Capacidade de Armazenamento Taxa de Carregamento	Carregamento Anual
WANKE, BARBASTEFANO e HIJJAR (2011)	Numero de Berços Area do Terminal Estacionamento	Carregamento Anual Navio Carregados
MERK e DANG (2012)	Profundidade Comprimento de todos os berços Capacidade de Armazenamento Taxa de Carregamento	Carregamento Anual
CHANG (2013)	Mão de Obra Comprimento do berço Área do Teminal Consumo de Energia	Carga Manipulada Embarcação Emissão CO2
PJEVČEVIĆ (2013)	Número de Guindastes Mão de Obra	Tempo médio de serviço da embarcação
WANKE (2013)	Número de Berços Área de Armazém Área de Pátio	Carregamento Anual Carregamento Anual

Autores (ano)	Inputs	Outputs
GUNER (2014)	Área terminal	Total de Frete
	Comprimento do Berço	
	Número do berço	
	Número de guindastes	Número de Navios
	Número de rebocadores	
	Nº de empilhadeiras	
	Mão de Obra	
Despesas totais		
WANKE e MATTOS (2014)	Taxa de Carregamento	Embarques/ano Carregamento Anual
GUNER (2015)	Área terminal	Carregamento Anual
	Comprimento do cais	
	Número de guindastes	Número de navios
	Número de empilhadeiras	
	Mão de Obra	
WANKE e BARROS (2015)	Comprimento do Berço	Carregamento Anual
	Profundidade do Berço	Produtividade Granel Sólido
	Número de Berços	Carregamento Granel Sólido
	Área de Armazenagem	Embarques Granel Sólido
	Área de Pátio	Produtividade Contêiner
	Largura do Canal	Carregamento Contêiner
	Profundidade do Canal	Embarques Contêiner
CHEN et. al (2016)	Profundidade do Canal	Taxa de transferência
	Largura do canal	
	Profundidade do berço	Crescimento da produção de minério de ferro
	Comprimento total do berço	
	Número de berços	
	Número de berços > 150.000 toneladas	Eficiência de carregamento de navio de uma única linha de minério de ferro
	Área do pátio de armazenamento	
	Volume do estoque	
	Equipamentos de carga	Eficiência de descarga de minério de ferro
	Capacidade de transporte projetado	
Comprimento da linha férrea no porto		
TISCOSKI (2016)	Comprimento do berço	Movimentação
	Taxa de Carregamento	Prancha média
JIANG, ZHU e CAO (2017)	Número de Berços	Carregamento Anual
	Comprimento do Berço	Carregamento Anual
	Mão de Obra	

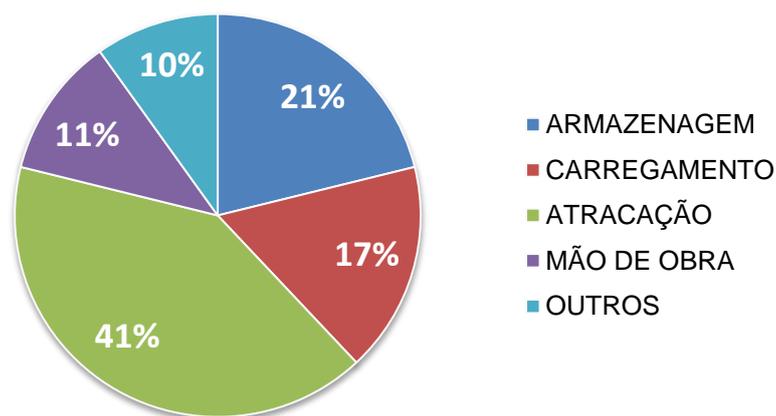
Autores (ano)	Inputs	Outputs
KAMMOUN (2018)	Equipamentos de carga	Carregamento Anual
	Área de Armazenagem	
	Mão de Obra	
WANKE, NWAOGBE e CHEN (2018)	Area do Terminal	Tráfego de Navios
	Número de Berços	Carregamento Anual Bruto
	Mão de Obra	Carregamento Carga Geral
	Comprimento do Berço	Carregamento Granel Sólido
		Carregamento Granel Líquido

Fonte: Elaborada pela Autora (2019)

As informações de dados de entrada e saída encontradas foram analisadas e divididas em áreas. Os dados de *inputs* foram separados em relação à atracação das embarcações, capacidade de armazenagem dos terminais, capacidade de carregamento, mão de obra disponível e outros. As parcelas mais significativas foram atracação, armazenagem e carregamento, sequencialmente, e as porcentagens estão dispostas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Frequência de *inputs* adotados em outros estudos

INPUTS

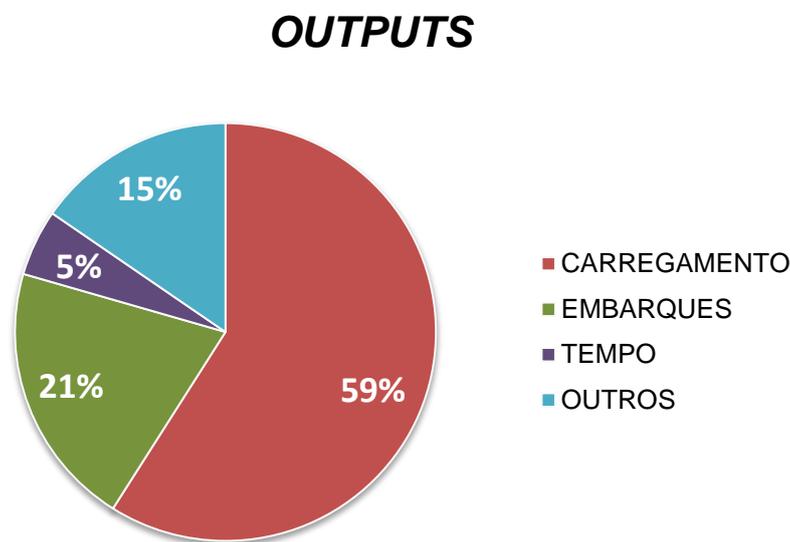


Fonte: Autora (2019)

Em relação aos *outputs*, seguindo a mesma lógica de agrupamento, os dados mais relevantes estão associados, predominantemente, ao carregamento

(59%) seguido de embarques, outros e tempo. As informações estão dispostas no Gráfico 2.

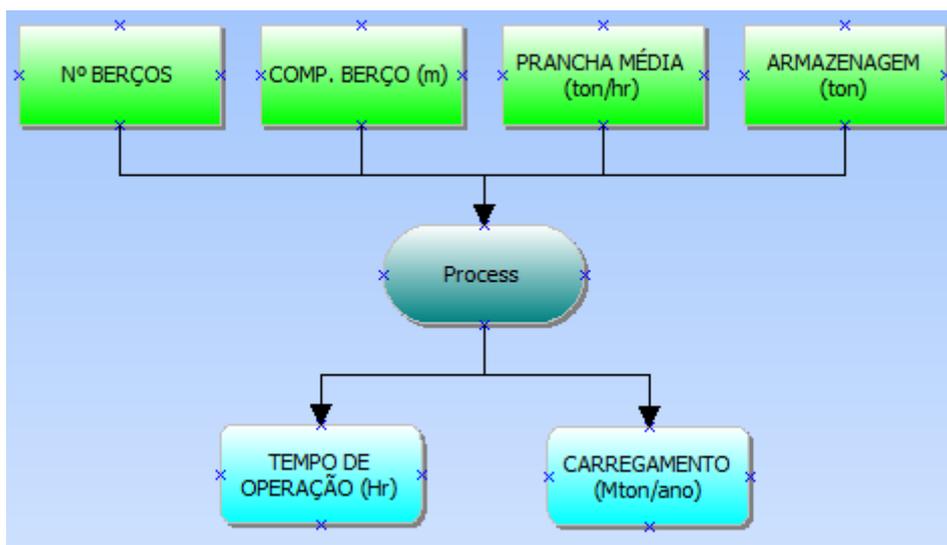
Gráfico 2 – Frequência de *outputs* adotados em outros estudos



Fonte: Autora (2019)

A seleção dos *inputs* e *outputs* a serem utilizados no presente estudo foi determinada a partir desses subgrupos de recursos e produtos. Optou-se por selecionar quatro *inputs*, dois referentes à parcela de maior importância, atracação (número de berços e comprimento de berço), e dois referentes, respectivamente, à armazenagem (capacidade de armazenagem) e carregamento (prancha média). Quanto aos *outputs* selecionou-se, primeiramente, o carregamento anual, que correspondeu a 54% dentre os 59% do subconjunto de carregamento e, no intuito de trazer alguma singularidade a este trabalho, diferenciando-o do que é usualmente utilizado, inclui-se um segundo *output* relativo ao tempo operacional. A Figura 16 ilustra o fluxograma das variáveis a serem utilizadas.

Figura 16 – Inputs e Output selecionados



Fonte: Autora (2019)

3.2 SELEÇÕES DAS DMUS E DO SOFTWARE DE ANÁLISE DA EFICIÊNCIA

A seleção das DMUs (terminais de granéis sólidos) foi apresentada no Capítulo 2, conforme as Tabelas 6, 7 e 8, segundo as informações fornecidas pela ANTAQ (2018) dos principais terminais movimentadores de granéis sólidos. Realizou-se então, uma pesquisa de dados a partir dos *sites* dos terminais, da ANTAQ, do Laboratório de Transporte e Logística da UFSC (LabTrans) e/ou através do contato com os operadores logísticos responsáveis pelos portos. A única ausência foi em relação ao *Terminal Ternium Br*, responsável pelo terceiro maior número de toneladas de carvão desembarcadas no Brasil, para o qual não obteve-se retorno quanto ao fornecimento de dados, portanto não foi possível incluí-lo a este estudo. As Tabelas 11, 12 e 13 correspondem aos dados coletados.

Ao analisar as tabelas, notam-se algumas discrepâncias de dados que podem influenciar nos resultados. A primeira observação é quanto ao Terminal Marítimo Ponta Ubu, na Tabela 11, que possui uma capacidade de armazenamento de 1.800.000 toneladas que é relativamente alta; esperava-se encontrar um número menor, pois é o terminal de menor movimentação anual. Esta informação procede do LabTrans da UFSC que auxilia na elaboração de diversos Planos de Desenvolvimento e Zoneamentos de terminais brasileiros. A Samarco, responsável

pelo terminal, foi comunicada a respeito dos dados e foi solicitado a confirmação dos mesmos, porém até o presente momento, não se obteve retorno.

A segunda observação é referente à Tabela 13, quanto ao Terminal Portuário do Pecém que possui uma capacidade de armazenamento de carvão igual à zero, isto é devido à característica de descarregamento e transporte do terminal. Segundo informações contidas no Plano Mestre (2015) do mesmo, o descarregamento é realizado de maneira contínua por uma correia transportadora com extensão de aproximadamente 14 km para as usinas termoelétricas da região.

A fim de analisar a eficiência dos terminais graneleiros selecionados, optou-se por utilizar um *software* comercial devido à praticidade de uso e, o fato de já haver uma licença adquirida pelo projeto aprovado, CNPq Universal, sob o número 441515/2014-2, sob coordenação da professora Vanina M. Durski Silva da UFSC - Joinville, sem gerar ônus adicional ao desenvolvimento deste trabalho. O *software* selecionado para resolução da problemática utilizando o Método de Análise Envoltória de Dados (DEA) foi o *Frontier Analyst* versão 4.3.0. A partir da definição das DMUs, variáveis de entrada e saída e do *software* pode-se prosseguir para as análises de resultados.

Tabela 11 - Dados de Terminais de Minério de Ferro

TERMINAL	Nº BERÇOS	COMP. BERÇO (m)	PRANCHA MÉDIA (ton/hr)	ARMAZENAGEM (ton)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Hr)	CARREGAMENTO (Mton/ano)
Ponta da Madeira	5	520	7.916	7.200.000	28,6	197,09
Tubarão	3	365	5.299	2.261.850	29,7	96,73
Itaguaí (Sepetiba)	3	320	3.788	3.200.000	45,4	48,46
Ilha Guaíba	2	340	3.607	1.778.000	58,3	41,18
Porto Sudeste do Brasil	2	383	5.406	2.500.000	30,3	10,64
Porto Do Açú	2	300	5.179	1.218.000	32,7	3,22
Porto Gregório Curvo	3	120	627	250.000	3,4	2,47
Granel Química Ladário	3	60	525	700.000	4,7	0,71
Terminal Marítimo Ponta Ubu	3	308	699	1.800.000	53,7	0,08

Fonte: Autora (2019)

Tabela 12 - Dados de Terminais de Soja

TERMINAL	Nº BERÇOS	COMP. BERÇO (m)	PRANCHA MÉDIA (ton/hr)	ARMAZENAGEM (ton)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Hr)	CARREGAMENTO (Mton/ano)
Santos	8	276	868	585.000	68,6	15,57
Paranaguá	13	245	1.037	1.550.000	57,0	15,36
Itaqui	1	280	1.115	255.000	56,3	8,54
Rio Grande	6	350	1.038	905.000	52,9	6,56
São Francisco Do Sul	2	276	852	364.000	77,6	5,48
Terminal De Tubarão	2	280	1.258	442.000	47,0	4,08
Terminal Portuário Cotegipe	2	260	801	396.000	81,4	3,78
Terbian - Terminal Bianchini	3	280	1.364	980.000	43,8	3,59
Tiplam	1	280	729	342.500	82,2	3,30
Terminal Graneleiro Hermasa	2	86	632	327.000	106,1	2,71

Fonte: Autora (2019)

Tabela 13 - Dados de Terminais de Carvão Mineral

TERMINAL	Nº BERÇOS	COMP. BERÇO (m)	PRANCHA MÉDIA (ton/hr)	ARMAZENAGEM (ton)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Hr)	CARREGAMENTO (Mton/ano)
Terminal De Praia Mole	2	400	796	920.000	96,8	10,40
Terminal Portuário Do Pecém	2	310	544	0	131,5	5,17
Itaguaí	2	270	619	550.000	100,7	2,44
Itaqui	2	251,5	415	108.000	118,5	0,64
Vila Do Conde	2	292	445	28.400	106,3	0,57
Vitória	2	201,2	361	18.000	64,7	0,40
Porto Do Açú Operações S.A.	1	340	805	200.000	49,5	0,24
Imbituba	2	410	255	90.000	77,2	0,10

Fonte: Autora (2019)

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir da seleção das DMUs e do *software* foi possível realizar a análise de resultados, a mesma foi elaborada conforme os modelos DEA para dois diferentes cenários. O primeiro (Cenário A) referente aos terminais de cada produto separadamente e o segundo (Cenário B), avaliando todos os terminais no intuito de verificar se há disparidade entre terminais que embarcam e desembarcam graneis sólidos.

4.1 CENÁRIO A

4.1.1 Terminais de Minério

Este primeiro cenário contempla as análises realizadas entre os terminais de cada produto separadamente. A Tabela 14 expõe os resultados encontrados para os terminais de minério de ferro, na qual verifica-se que quatro terminais obtiveram eficiências máximas em ambos modelos e orientações, ou seja, tais terminais têm melhor aproveitamento de recursos e produtos. Sendo que o terminal de Gregório Curvo (MS) foi mais vezes utilizado como referência nas análises de *benchmarking* (15 vezes), contabilizando os quatro campos de dados – dos dois modelos e duas orientações.

Tabela 14 – Resultados para terminais de minério de ferro

TERMINAIS DE MINÉRIO DE FERRO	CCR		BCC		Benchmarking
	IN	OUT	IN	OUT	
Granel Química Ladário	100%	100%	100%	100%	7
Ilha Guaíba	63%	63%	100%	100%	5
Itaguaí	54%	54%	87%	72%	0
Ponta da Madeira	100%	100%	100%	100%	14
Porto Do Açú	19%	19%	100%	100%	2
Porto Gregório Curvo	100%	100%	100%	100%	15
Porto Sudeste do Brasil	29%	29%	100%	100%	2
Terminal Ponta Ubu	6%	6%	98%	6%	0
Tubarão	100%	100%	100%	100%	9

Fonte: Autora (2019)

O *software* fornece as contribuições dos *input/output* sobre os resultados de cada terminal, variando de 0 a 100, nos quais valores positivos representam interdependências com os resultados e nulos equivalem a quais dados foram ignorados.

A respeito dos terminais de maior eficiência (Granel Química Ladário, Ponta da Madeira, Gregório Curvo e Tubarão), os índices de correlação, fornecidos pelo software, estão dispostos na Tabela 14. A respeito destes índices, o software não fornece os valores dos pesos de cada variável utilizados no cálculo de eficiência, o que o mesmo fornece é uma correlação, em porcentagem, dos *inputs* e *outputs* sobre os resultados encontrados.

Nota-se, Tabela 14, que o *output* carregamento anual foi utilizado por todas as quatro DMUs. Tubarão e Ponta da Madeira apresentam preponderância nos dados de carregamento anual (Tabela 11) o que explica a valorização desta saída para o cálculo de eficiência das mesmas. Já Gregório Curvo e Granel Química Ladário, apresentam os menores tempos operacionais conforme a Tabela 11, por isso obtém-se altos valores de correlação. Vale salientar que para o *output* de tempo de operação, a eficiência é calculada de maneira inversa, pois quanto menor for este valor, mais eficiente será um terminal.

Tabela 15 – Índices de correlação para terminais mineraleiros

	Terminais	Gregório Curvo	Tubarão	Granel Química Ladário	Ponta da Madeira
<i>Inputs</i>	Nº de Berço	0	81,6	0	0
	Comp. Berço	91,7	0	99,9	0
	Prancha-média	0	0	0	49,7
	Armazenagem	8,2	18,3	0	50,2
<i>Outputs</i>	Tempo de Operação	92,1	9,3	96,9	0
	Carregamento Anual	7,8	90,6	3	99,9

Fonte: Autora (2019)

No intuito de se obter um *ranking* entre as unidades tomadoras de decisão e diferenciar as que atingiram $Effo=1$, utilizou-se o conceito de supereficiência, que segundo Valente (2009), “consiste na análise individual de cada DMU quando excluída do conjunto de observações de referência da DEA”. Deste modo, caso seja orientada por *inputs*, a DMU poderá aumentar os recursos alocados e ainda assim se manter eficiente; a disposição deste *ranking* está na Tabela 16.

Tabela 16 – *Ranking* de terminais de minério

Ranking	Terminais	Supereficiência
1	Porto Gregório Curvo	400,30%
2	Tubarão	156,60%
3	Granel Química Ladário	144,70%
4	Ponta da Madeira	143,00%
5	Ilha Guaíba	63,00%
6	Itaguaí	53,70%
7	Porto Sudeste do Brasil	29,10%
8	Porto Do Açú	19,10%
9	Terminal Ponta Ubu	6,30%

Fonte: Autora (2019)

A respeito destes resultados é interessante averiguar que dois portos fluviais, Gregório Curvo e Granel Química Ladário, entre as quatro primeiras colocações. Os dois terminais estão localizadas na Hidrovia Paraguai-Paraná no estado do Mato Grosso do Sul e são abastecidos por cargas provenientes do transporte ferroviário. As principais variáveis que contribuíram para os altos resultados de eficiência foram o comprimento de berço e tempo de operação, apresentando menores números em relação aos demais terminais (Tabela 11).

As quatro DMUs de pior desempenho (Itaguaí, Porto Sudeste do Brasil, Porto do Açú e Terminal Ponta Ubu) foram analisadas de forma individual quanto aos possíveis potenciais de melhorias, tal informação também é fornecida pelo *software*. A Tabela 177 expõe os potenciais de melhoria para o Terminal Marítimo Ponta Ubu.

Tabela 17 – Potenciais de melhoria para o Terminal Marítimo Ponta Ubu

Terminal Ponta Ubu	Encontrado	Proposto
CARREGAMENTO (Mton/ano)	0,08	0,16
Nº BERÇOS (unid)	3,00	0,19
TEMPO DE OPERAÇÃO (hr)	53,70	53,7
COMP. BERÇO (m)	308,00	7,60
PRANCHA MÉDIA (ton/hr)	699,00	39,70
ARMAZENAGEM (ton)	1.800.000,00	15.829,00

Fonte: Autora (2019)

A correta interpretação dos dados exige uma comparação com a realidade enfrentada pelos portos, como por exemplo: não é possível tornar a quantidade de berços em um número não inteiro ou, a diminuição drástica do comprimento de berço,

impossibilitaria a atracação de navios. Portanto, a proposta mais adequada aos terminais seria reduzir a capacidade de armazenagem, o que também poderia causar um impacto positivo sobre o tempo operacional. De acordo com uma conversa via telefone com o especialista responsável pela área operacional do Porto de Vitória, geralmente o pátio de estocagem é utilizado por muitos operadores logísticos, o que ocasiona atrasos nos processos de carregamento e aumenta a *demurrage*¹ sobre os navios; diminuir a capacidade de armazenagem ou realocá-la em uma área externa ao terminal pode contribuir para redução do tempo de carregamento.

Conforme os resultados calculados pelo método, as proposições quanto à redução das capacidades de armazenamento dos quatro terminais de pior desempenho (Itaguaí, Porto Sudeste do Brasil, Porto do Açú e Terminal Ponta Ubu) estão dispostas na Tabela 18.

Tabela 18 – Potenciais de melhoria para terminais pouco eficientes

Terminais	Encontrado (ton)	Proposto (ton)
Terminal Marítimo Ponta Ubu	1.800.000	15.829
Porto Do Açú	3.200.000	1.718.555
Porto Sudeste do Brasil	2.500.000	405.623
Itaguaí	3.200.000	1.718.555

Fonte: Autora (2019)

No entanto, apenas com o Método DEA não é possível investigar estas informações a fundo; seria necessário um estudo direcionado para avaliar a situação de cada terminal. Algumas ponderações podem ser feitas, por exemplo, como já mencionado no Capítulo 2, uma pequena capacidade de armazenagem pode resultar no aumento do tempo de espera de navios, e grandes dimensões de pátio dificultam a recuperação do investimento, por isso cada terminal deve buscar um tamanho de pátio de armazenagem ótimo que atenda a suas necessidades, evitando o super ou subdimensionamento.

4.1.2 Terminais de Soja

Em seguida foi realizada a análise dos terminais de soja, ver Tabela 19, os quais apresentaram menores discrepâncias de eficiência e maiores quantidades de DMUs com eficiências ótimas, totalizando 8 entre as 10 listadas.

¹ Demurrage¹ é a indenização diária, devida ao afretador, quando o importador excede o tempo determinado para completar a operação de embarque ou de descarga. Esse período permitido é previamente acordado na negociação do contrato de transporte.

Tabela 19 – Resultados para terminais de soja

TERMINAIS DE SOJA	CCR		BCC		<i>Benchmarking</i>
	IN	OUT	IN	OUT	
Itaqui	100%	100%	100%	100%	10
Paranaguá	100%	100%	100%	100%	4
Rio Grande	100%	100%	100%	100%	10
Santos	100%	100%	100%	100%	8
São Francisco Do Sul	91%	91%	94%	92%	0
Terbian - Terminal Bianchini	100%	100%	100%	100%	4
Terminal De Tubarão - TPD	100%	100%	100%	100%	11
Terminal Hermasa	100%	100%	100%	100%	8
Terminal Cotegipe	90%	90%	93%	92%	0
Tiplam	100%	100%	100%	100%	12

Fonte: Autora (2019)

Realizando a análise com orientação para *inputs* no modelo de retorno constante para os terminais de Cotegipe e São Francisco do Sul (SFS), verifica-se, Tabela 20, que as variáveis que exercem maiores influências sobre os resultados destes terminais são prancha média e tempo de operação.

Tabela 20 – Correções de variáveis para Cotegipe e SFS

Terminais	SFS	Cotegipe
Nº de Berço	4,8	5,1
Comp. Berço	0	0
Prancha-média	94,3	93,4
Armazenagem	1	1,2
Tempo de Operação	93,2	95,2
Carregamento	6,1	4,4

Fonte: Autora (2019)

A sugestão de melhorias seria possível realizar um incremento nas toneladas embarcadas de 10,88% e 10,01% para Cotegipe e SFS, respectivamente, e uma redução de aproximadamente 10% no tempo de operação dos dois terminais, conforme a Tabela 211.

Tabela 21 – Proposta de Melhorias

Potencial de Melhoria Para Carregamento Anual			
Terminais	Encontrado (Mton)	Proposto (Mton)	% de Melhoria
Terminal Cotegipe	3,78	4,19	10,88%
São Francisco Do Sul	5,48	6,03	10,01%
Potencial de Melhoria Para Tempo de Operação			
Terminais	Encontrado (Hr)	Proposto (Hr)	% de Melhoria
Terminal Cotegipe	77,6	70,616	-9,00%
São Francisco Do Sul	81,4	73,26	-10,00%

Fonte: Autora (2019)

Percebe-se que quanto a capacidade de armazenamento não são necessárias melhorias visto que todos os terminais de soja encontrados estão bem dimensionados, mesmo havendo uma condicionante a mais para terminais de grãos que é o efeito da sazonalidade, que provoca maiores movimentações nos terminais em determinados períodos do ano.

Novamente, utilizando o conceito de superficiência para a primeira coluna de eficiência, obteve-se o *ranking* das melhores DMUs, conforme a Tabela 22, na qual o Porte de Itaqui apresentou a maior folga quanto a aumentar seus *inputs* e mesmo assim, permanecer eficiente.

Tabela 22 – *Ranking* de terminais de soja

Ranking	Terminais	Supereficiência
1	Itaqui	285%
2	Santos	176%
3	Terminal Hermasa	139%
4	Paranaguá	118%
5	Rio Grande	108%
6	Terminal De Tubarão - TPD	107%
7	Terbian - Bianchini	101%
8	Tiplam	101%
9	São Francisco Do Sul	91%
10	Terminal Cotegipe	90%

Fonte: Autora (2019)

4.1.3 Terminais de Carvão

Na sequência, o estudo de portos de carvão foi realizado e partir das correlações *input/output* é possível perceber uma preponderância dos dados de prancha média e carregamento anual sobre os cálculos de eficiência (Tabela 23), mesmo existindo diferenças significativas como entre os terminais de Imbituba (255 ton/hr) e Porto do Açu (805 ton/hr), conforme a Tabela 12.

Tabela 23 – Índices de interdependência para terminais de carvão

	Terminais	Imbituba	Açu	Praia Mole	Pecém	Vitória
<i>Inputs</i>	Nº de Berço	0	0	0	0	0
	Comp. Berço	0	0	0	0	99,9
	Prancha-média	99,9	99,9	99,9	99,9	0
	Armazenagem	0	0	0	0	0
<i>Outputs</i>	Tempo de Operação	99,9	98,6	0	0	0
	Carregamento	0	1,1	99,9	99,9	99,9

Fonte: Autora (2019)

Nota-se, Tabela 24, que cinco terminais obtiveram eficiências iguais a um e que os terminais Porto do Açu e Vitória foram as maiores referências na análise de *benchmarking*, ou seja, é possível que na construção da fronteira de eficiência as DMUs ineficientes estavam localizadas abaixo da fronteira, mas próximas a estes terminais, por isso foram mais vezes utilizados na análise comparativa.

Tabela 24 – Resultados para terminais de carvão

TERMINAIS DE CARVÃO	CCR		BCC		<i>Benchmarking</i>
	IN	OUT	IN	OUT	
Imbituba	100%	100%	100%	100%	5
Itaguaí	70%	70%	95%	70%	0
Itaqui	55%	55%	96%	55%	0
Porto Do Açu	100%	100%	100%	100%	16
Terminal Praia Mole	100%	100%	100%	100%	11
Terminal Do Pecém	100%	100%	100%	100%	9
Vila Do Conde	61%	61%	96%	63%	0
Vitória	100%	100%	100%	100%	16

Fonte: Autora (2019)

A análise da supereficiência indicou que a DMU mais eficiente foi o Terminal Portuário do Pecém (Tabela 25), que poderia incrementar em 1.000% seus *inputs* e continuar eficiente. Obviamente, não é de interesse de nenhum porto aumentar seus recursos sem necessidade, contudo, o cálculo de supereficiência é baseado na folga que os terminais teriam para aumentar variáveis de entrada, caso o modelo seja orientado a *inputs* ou de diminuir saídas, caso seja orientado a *ouputs*. A intenção é encontrar uma maneira de ordenar os terminais em um *ranking* e não, de promover sugestões de melhorias baseada nestas informações.

Tabela 25 – *Ranking* de terminais de carvão

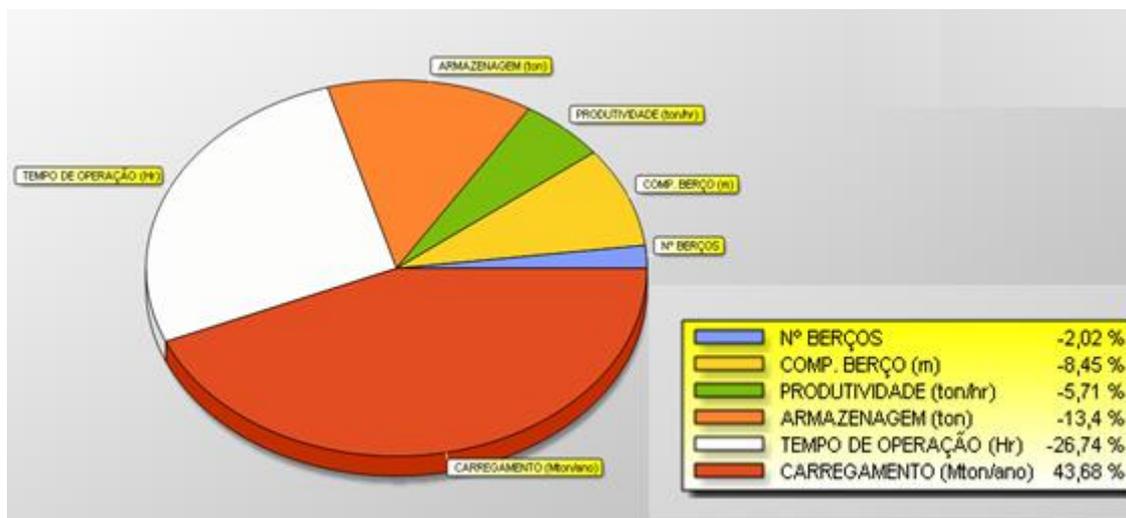
Ranking	Terminais	Supereficiência
1	Terminal Do Pecém	1000%
2	Porto Do Açú	261%
3	Vitória	260%
4	Terminal Praia Mole	201%
5	Imbituba	119%
6	Itaguaí	70%
7	Vila Do Conde	61%
8	Itaqui	55%

Fonte: Autora (2019)

Ainda quanto ao terminal do Pecém, era esperado que a armazenagem tivesse forte interdependência com os resultados (Tabela 23), visto que o valor desta entrada é nulo e um diferencial comparado aos demais, porém este item não foi contabilizado na análise de eficiência e sim, de forma expressiva, na de supereficiência.

As melhorias propostas foram baseadas no gráfico da Figura 17, que expõe o potencial geral de melhorias em cada variável (*input* e *output*). Segundo o mesmo, os *outputs* de maior significância para aumentar o percentual de eficiência são tempo de operação e carregamento anual, que poderiam ter uma redução e incremento médio de -26,74% e 43,68%, respectivamente.

Figura 17 - Potencial geral de melhorias para terminais de carvão



Fonte: *Software Frontier Analyst* (2019)

4.2 CENÁRIO B

Os autores Oliveira e Cariou (2011) afirmaram que existem diferenças significativas entre os portos de carga e descarga (importam/exportam mercadorias), principalmente em taxas de carregamento. Baseando-se nesta afirmação, propõe-se o cenário B, criado para avaliar a influência a cerca dos processos de carregamento/d Descarregamento de navios na eficiência de terminais.

Como já mencionado, geralmente a descarga é realizada por equipamentos tipo *Grab* (descontínuo) o que provoca menores números de prancha média. Esta informação pode ser comprovada analisando os dados de entrada de cada terminal quanto ao carregamento/d Descarregamento (ton/hr) na Tabela 26. Ordenando os valores encontrados em ordem crescente, sem identificar os terminais (linhas), e utilizando uma escala de cores (na qual, verde representa maiores valores de prancha média e vermelho, menores) nota-se que os terminais de carvão não apresentaram valores acima de 900 ton/hr.

Tabela 26 – Prancha média (ton/hr) dos terminais

Minério	Soja	Carvão
525	632	255
627	729	361
699	801	415
3.607	852	445
3.788	868	544
5.179	1.037	619
5.299	1.038	796
5.406	1.115	805
7.916	1.258	
	1.364	

Fonte: Autora (2019)

A construção do *ranking*, Tabela 27, foi realizada a partir do modelo de eficiência produtiva com orientação a *inputs*, da análise de supereficiência e de *bechmarking*. A unidade produtiva mais supereficiente foi o Terminal do Pecém responsável pela importação de carvão; dado os relativos baixos valores de prancha média para terminais que importam mercadorias, este primeiro lugar no *ranking* com todas as DMUs (carvão, minério e soja) poderia gerar certa estranheza. Mas, com o auxílio da observação realizada no Capítulo 3, este resultado pode ser justificado.

O descarregamento realizado no Terminal Portuário do Pecém é de modo contínuo através de um equipamento de capacidade de 2400 ton/hr, segundo dado da VLI (empresa responsável pelas operações logística do porto). Além disso, a capacidade de armazenamento do terminal é nula, pelo fato de haver correias transportadoras com extensão de 13,7 km que conduzem o carvão até usinas termoelétricas da região que irão consumir este produto, justificando a não necessidade de se manter armazenagem no terminal. Acredita-se que estas informações de entradas exerçam forte influência sobre os resultados encontrados.

Tabela 27 - *Ranking* de todos os terminais

<i>Ranking</i>	<i>Produto</i>	<i>Terminais</i>	<i>Supereficiência</i>	<i>CCR</i>	<i>Benchmarking</i>
1	Carvão	Terminal Do Pecém	1000%	100%	7
2	Minério	Porto Gregório Curvo	365%	100%	23
3	Minério	Tubarão	149%	100%	12
4	Minério	Granel Química Ladário	145%	100%	1
5	Minério	Ponta da Madeira	143%	100%	16
6	Soja	Santos	85%	85%	-
7	Soja	Itaqui	73%	14%	-
8	Minério	Ilha Guaíba	63%	63%	-
9	Soja	Paranaguá	62%	62%	-
10	Carvão	Vitória	60%	60%	-
11	Carvão	Terminal Praia Mole	54%	54%	-
12	Minério	Itaguaí	54%	54%	-
13	Soja	São Francisco Do Sul	37%	37%	-
14	Minério	Porto Sudeste do Brasil	29%	29%	-
15	Soja	Rio Grande	29%	29%	-
16	Soja	Terminal Cotegipe	27%	27%	-
17	Soja	Tiplam	26%	26%	-
18	Carvão	Vila Do Conde	24%	24%	-
19	Soja	Terminal Hermasa	24%	24%	-
20	Soja	Terminal Tubarão	23%	23%	-
21	Soja	Porto Do Açú	21%	21%	-
22	Minério	Porto Do Açú	19%	19%	-
23	Carvão	Itaguaí	19%	19%	-
24	Carvão	Itaqui	14%	14%	-
25	Soja	Terbian Bianchini	14%	14%	-
26	Carvão	Imbituba	12%	12%	-
27	Minério	Terminal Ponta Ubu	6%	6%	-

Fonte: Autora (2019)

Embora o Terminal Do Pecém tenha obtido uma supereficiência notória (1.000%), o porto que teve maior frequência no *bechmarking* geral foi o Porto Gregório Curvo responsável pelo embarque de minério de ferro, seguido pelo Terminal de Ponta da Madeira e de Tubarão, também mineraleiros. A respeito dos dados de eficiência, nota-se ao avaliar os dez primeiros colocados, os terminais que exportam minério foram preponderantes e quanto aos vinte primeiros, os terminais de soja obtiveram uma maior quantidade de portos desta seleção (Tabela 28).

Tabela 28 – Quantidade de terminais melhores colocados por mercadoria

Terminais	Entre os 10 primeiros	Entre os 20 primeiros
Carvão	2	4
Minério	5	7
Soja	3	9

Fonte: Autora (2019)

De certa forma, identifica-se uma sensível superioridade de eficiência de terminais exportadores diante dos importadores, porém seria necessário um estudo com um maior número de DMUs para de fato verificar esta tendência. Outra observação a respeito disto, é que em números de movimentação destes graneis, o Brasil mais exporta do que importa, por isso é compreensível que os terminais de minério de ferro e soja tenham valores superiores de entrada e saída, sugerindo-se que terminais importadores não têm como objetivo primário o foco em operações de descarga, justificando a baixa eficiência operacional. A exemplo disto, temos os terminais de Itaquí (movimentador de carvão e soja) e Itaguaí (movimentador de carvão e minério de ferro), que apresentaram eficiência relativamente superiores nas mercadorias soja e minério de ferro em relação ao carvão, conforme a Tabela 27. Ademais, as considerações finais a respeito deste trabalho em uma visão geral, se encontram no próximo capítulo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram estimados os índices de eficiência dos principais terminais de granéis sólidos brasileiros e avaliadas as possíveis variáveis que exercem influência sobre a eficiência dos mesmos. A utilização da Análise Envoltória de Dados foi escolhida por ser um método de simples aplicação e uma boa ferramenta de auxílio para o cálculo de eficiências técnica e produtiva.

O estudo foi realizado em sete etapas: a primeira consistiu-se em uma pesquisa sistemática para encontrar, a partir de trabalhos existentes, as variáveis frequentemente utilizadas no estudo de terminais portuários. Na etapa seguinte, selecionou-se tais variáveis e optou-se por adicionar mais um *output* relacionado ao tempo operacional dos terminais. As etapas três e quatro contemplam busca de dados e seleção de *software* para realização da análise da eficiência e puderam ser realizadas de maneira simultânea; já as etapas finais foram respectivamente, a criação de cenários, o processamento dos dados e análise de resultados.

Os resultados foram gerados a partir dos diferentes modelos e orientações, conforme o encontrado na literatura e no intuito de diferenciar as DMUs com eficiências ótimas utilizou-se o conceito de supereficiência, propiciando a criação de *rankings* de eficiência entre os terminais. Através dos dados gerados pelo *software* durante a análise, também foi possível encontrar as correlações *input/output* e os potenciais de melhorias para as DMUs de menor eficiência. Vale salientar que a respeito das sugestões de melhorias o método DEA oferece uma visão geral e relativa no sentido de comparação entre as unidades tomadoras de decisão; para melhores proposições é recomendado um estudo específico para cada terminal.

A análise realizada entre todos os terminais catalogados no estudo indicou o Terminal Portuário do Pecém, que tem como mercadoria movimentada o carvão, como sendo o mais supereficiente, e dado que as pranchas médias de terminais que descarregam granéis são relativamente baixas em comparação aos que embarcam, esperava-se que algum dos terminais exportadores alcançasse a primeira colocação. Contudo, o fato do mesmo não possuir armazéns ou pátios de estocagem, favoreceu os resultados, já que a análise de supereficiência verifica o quanto uma DMU pode aumentar seus recursos e permanecer eficiente. Neste caso, o Terminal do Pecém tem uma folga significativa para o aumento da variável de capacidade de armazenamento.

Em relação ao comparativo de eficiência entre terminais exportadores *versus* importadores foi possível identificar uma tendência a favor dos terminais que exportam mercadorias, porém esta informação poderia ser melhor verificada a partir do estudo de mais DMUs. Posto que o Brasil mais exporta que importa graneis sólidos, seria interessante avaliar com outros terminais que são importantes consumidores destes produtos.

À luz dos resultados obtidos e informações expostas, pôde-se verificar que o modelo proposto apresentou resultados coerentes e satisfatórios. As análises de potenciais de melhorias podem auxiliar em prováveis processos de tomada de decisão por parte de operadores logísticos e autoridades portuárias, quanto melhor alocação/distribuição de *inputs* e *outputs*.

Conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos e que os resultados encontrados pelo método DEA constituem uma boa ferramenta para verificar os terminais de graneis sólidos mais eficientes do Brasil, analisar quais DMUs servem de parâmetro e quais podem incrementar melhorias.

Finalmente, algumas sugestões para pesquisas futuras podem ser citadas como:

- Realizar uma pesquisa de campo nos terminais e conversar com operadores logísticos a respeito dos resultados encontrados neste trabalho, bem como obter um direcionamento sobre a realidade deles;
- Inserir DMUs de outros países, em especial da América Latina e de países asiáticos por se tratar de uma rota importante na movimentação de *commodities*, e ampliar a pesquisa;
- Inserir novas variáveis de entrada e saída e verificar o comportamento dos resultados;
- Sugere-se que seja realizado um estudo de viabilidade financeira a respeito das propostas de melhorias, como por exemplo, a redução da capacidade de armazenagem.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABTRA, Associação Brasileira de Terminais e Recintos Alfandegados . **Em busca de mar calmo**. Rio de Janeiro: Data Center Brasil, 2018. Disponível em: <<http://informativosportos.com.br/portal/wp-content/uploads/2018/08/EM-BUSCA-DE-MAR-CALMO.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

ALVES, Carlos Frederico. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE CONTÊINERES: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA COM A INCLUSÃO DE UM INSUMO INTANGÍVEL**. 2019. 246 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Cap. 106.

ANTAQ. **ANUÁRIO 2018**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BANK, Banco Mundial - The World. **Veja ranking de países pela qualidade da infraestrutura portuária**. Disponível em: <<http://www.deepask.com.br/goes?page=Veja-ranking-de-paises-pela-qualidade-da-infraestrutura-portuaria>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

BELLONI, José Angelo. **Uma Metodologia de Avaliação da Eficiência Produtiva de Universidades Federais Brasileiras**.2000. 246 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/78457/153160.pdf?seq%20uence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BONILLA, M.. **An efficiency analysis with tolerance of the Spanish port system**. 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286724315_An_efficiency_analysis_with_tolerance_of_the_Spanish_port_system>. Acesso em: 05 mai. 2019.

CATELLI, Armando. **Controladoria - Uma Abordagem Da Gestão Econômica - GECON**. São Paulo: Atlas, 1999.

CEPAL. **Anuário Estadístico de América Latina y el Caribe**. 2018. Disponível em: <<https://www.cepal.org/es/publicaciones/43239-anuario-estadistico-america-latina-caribe-2017-statistical-yearbook-latin>>. Acesso em: 03 out. 2018.

CHALRÉO, Fernando. **Análise Envoltória de Dados – Comparando a Eficiência em Operações**. 2015. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/analise-envoltoria-de-dados-comparando-a-eficiencia-em-operacoes/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

CLARK, Ximena; DOLLAR, David; MICCO, Alejandro. **Port efficiency, maritime transport costs, and bilateral trade**. 2004. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304387804000689>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

CHANG, Young-tae. **Environmental efficiency of ports: a Data Envelopment Analysis approach**. 2013. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03088839.2013.797119?needAccess=true>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

CHEN, Jihong; WAN, Zheng; ZHANG, Fangwei. **Operational Efficiency Evaluation of Iron Ore Logistics at the Ports of Bohai Bay in China: Based on the PCA-DEA Model**. 2016. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/mpe/2016/9604819/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

COELLI, Timothy. **AN INTRODUCTION TO EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY ANALYSIS**. Australia: Springer, 1998.

Cooper, W.W., Park, K.S., Yu, G., 1999. IDEA and ARIDEA: Models for dealing with imprecise data in DEA. *Management Science* 45, 597–607.

CREJO, Fausto Arroyo. **Título: Análisis de inversiones portuarias en América Latina y el Caribe al horizonte 2040**. 2016. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/An%C3%A1lisis%20de%20inversiones%20portuarias%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe%20al%20horizonte%202040.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

CULLINANE, Kevin. **Revisiting the Productivity and Efficiency of Ports and Terminals: Methods and Applications**. 2015. Disponível em: <<https://lawexplores.com/revisiting-the-productivity-and-efficiency-of-ports-and-terminals-methods-and-applications/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

DEBREU, Gerard. The Coefficient of Resource Utilization. **The Econometric Society**. Londres, p. 273-292. jul. 1951. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/pdf/1906814.pdf?refreqid=excelsior%3Ad5f35f1819529079757b99af44d960f4>>. Acesso em: 06 maio 2019.

DEVELOPMENT, United Nations Conference On Trade And. **REVIEW OF MARITIME TRANSPORT**. 2017. Disponível em: <https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2017_en.pdf?user=46>. Acesso em: 02 nov. 2018.

DURÁN, Jorge. **Considerações sobre os portos da América Latina e Caribe**. 2018. Disponível em: <<https://www.ictsd.org/bridges-news/pontes/news/considera%C3%A7%C3%B5es-sobre-os-portos-da-am%C3%A9rica-latina-e-caribe>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

ESSENCIAL PARA O COMÉRCIO EXTERIOR, TRANSPORTE MARÍTIMO AVANÇA NO BRASIL. Governo do Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2017/11/essencial-para-o-comercio-%20exterior-transporte-maritimo-avanca-no-brasil>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

FALCÃO, Viviane Adriano; CORREIA, Anderson R.. Eficiência portuária: análise das principais metodologias para o caso dos portos brasileiros. **Journal Of Transport Literature**. São Paulo, p. 1-14. out. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jtl/v6n4/v6n4a07.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal Of The Royal Statistical Society**. Cambridge, v. 3, n. 120, p.1-38, 1957. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2343100?read-now=1&seq=1#page_scan_tab_contents>. Acesso em: 02 nov. 2018.

FIGUEIREDO, G. S. O Papel dos Portos Concentradores na Cadeia Logística Global. Anais do XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção Bahia, 2001. FORUM, World Economic. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2001_TR11_0464.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2019

FORUM, World Economic. **Quality of port infrastructure**. 2018. Disponível em: <<http://reports.weforum.org/global-competitiveness-index-2017-2018/competitiveness-rankings/#series=EOSQ353>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

FQRSUND, Finn R.; LOVELL, C.a. Knox; SCHMIDT, Peter. **A SURVEY OF FRONTIER PRODUCTION FUNCTIONS AND OF THEIR RELATIONSHIP TO EFFICIENCY MEASUREMENT**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/CA_Lovell/publication/4854579_A_Survey_of_Frontier_Production_Functions_and_of_Their_Relationship_to_Efficiency_Measurement/links/5ab459aa0f7e9b4897c7a39a/A-Survey-of-Frontier-Production-Functions-and-of-Their-Relationship-to-Efficiency-Measurement.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

GROSSMAN, Matt. **Efficiency**. 2019. Disponível em: <<https://academic-eb-britannica.ez46.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/efficiency/600904>>. Acesso em: 30 mai. 2019.

GUERREIRO, Alexandra dos Santos. **Análise da Eficiência de Empresas de Comércio Eletrônico usando Técnicas da Análise Envoltória de Dados**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9973/9973_1.PDF>. Acesso em: 19 jun. 2019.

GÜNER, Samet. **Proposal of a Two-Stage Model For Measuring The Port Efficiency And An Implication On Turkish Ports**. 2015. Disponível em: <<https://dergipark.org.tr/alphanumeric/issue/27313/287555>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

HUANG, Tai-hsin; WANG, Mei-hui. COMPARISON OF ECONOMIC EFFICIENCY ESTIMATION METHODS: PARAMETRIC AND NON-PARAMETRIC TECHNIQUES. **The Manchester School**. Manchester, p. 1-28. set. 2002. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1467-9957.00320>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

KOOPMANS, T. C. Activity Analysis of Production and Allocation. **The Economic Journal**. Londres, p. 625-628. set. 1952. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/pdf/2226909.pdf?refreqid=excelsior%3Aa6637288e9496e7d94c9bc74b507074e>>. Acesso em: 06 maio 2019.

KAMMOUN, Rabeb. **The Technical Efficiency of Tunisian Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis Scores**. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/328633276_The_Technical_Efficiency_of_Tunisian_Ports_Comparing_Data_Envelopment_Analysis_and_Stochastic_Frontier_Analysis_Scores>. Acesso em: 30 abr. 2019.

KASSAI, Silvia. **Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na Análise de Demonstrações Contábeis**. 2002. 350 f. Tese (Doutorado) - Curso de Contabilidade e Controladoria, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12136/tde-11122002-092458/publico/TeseCompleta.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

KUMAR, Subodh; RUSSELL, R. Robert. Technological Change, Technological Catch-up, and Capital Deepening: Relative Contributions to Growth and Convergence. **American Economic Association**. Londres, p. 527-548. jun. 2002. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/pdf/1906814.pdf?refreqid=excelsior%3Ad5f35f1819529079757b99af44d960f4>>. Acesso em: 06 maio 2019.

LABTRANS. **Plano Mestre do Terminal Portuário do Pecém**. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/versao_completa/pm36.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2019.

LOVELL, C. A. Knox; FRIED, Harold O.; SCHMIDT, Shelton. S. **THE MEASUREMENT OF PRODUCTIVE EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY GROWTH**. New York: Oxford University Press, 2008. 638 p. Disponível em: <<http://pages.stern.nyu.edu/~wgreene/FrontierModeling/SurveyPapers/Lovell-Fried-Schmidt.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

LETA, Fabiana Rodrigues; MELLO, João Carlos C. B. Soares de; GOMES, Eliane Gonçalves. **Métodos de Melhora de Ordenação em DEA Aplicados à Avaliação Estática de Tornos Mecânicos**. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/iop/v25n2/v25n2a04.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

LINES, Mitsui O.s.k. **Annual Report 2017**. Disponível em: <<https://www.mol.co.jp/en/ir/data/annual/pdf/ar-e2017.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

LOLLI, Paola Lemos. **UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) COMO MODELO PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA FINANCEIRA**. 2014. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/158376/001022066.pdf?sequencia=1>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

LUNDGREN, Nils-gustav. Bulk trade and maritime transport costs. **Pergamon**. Grã Bretanha, p. 5-32. nov. 1996.

MAGALHÃES, Petrônio Sá Benevides. **Transporte Marítimo - Cargas, Navios, Portos e Terminais**. São Paulo: Aduaneiras, 2010.

MARIANO, Enzo B.; ALMEIDA, Mariana R.; REBELATTO, Daisy A. N.. **PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA UMA PROPOSTA DE ENSINO SOBRE ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS**. 2006. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/COBENGE2006-PrincipiosbsicosparaumapropostadeensinosobreAnliseporEnvoltriadeDados.pdf>. Acesso em: 30 maio 2019.

MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; MEZA, Lidia Angulo; GOMES, Eliane Gonçalves. **CURSO DE ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS**. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joao_Mello/publication/237473886_CURSO_D_E_ANALISE_DE_ENVOLTORIA_DE_DADOS/links/0deec5226afdc4f679000000/CURSO-DE-ANALISE-DE-ENVOLTORIA-DE-DADOS.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

Merk, O., Dang, T. (2012) “**Efficiency of world ports in container and bulk cargo (oil, coal, ores and grain)**”, OECD Regional Development Working Papers, 2012/09, OECD. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/5k92vvgw39zs2-en>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

NOVA, Silvia Pereira de Castro Casa. **Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 2002. 350 f. Tese (Doutorado) - Curso de Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12136/tde-11122002-092458/pt-br.php>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Elsevier - Campus, 2015.

OLIVEIRA, Gabriel Figueiredo de; CARIU, Pierre. A DEA study of the efficiency of 122 iron ore and coal ports and of 15/17 countries in 2005. **Maritime Policy & Management: The Flagship Journal Of International Shipping And Port Research**. Londres, p. 727-743. nov. 2011. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03088839.2011.625989?needAccess=true>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

PARÉ, Guy; TRUDEL, Marie-claude; JAANA, Mirou. Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. **Elsevier**. Quebec, p. 183-199. jul. 2014. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4126344/mod_resource/content/2/2.4.Pare%20et%20al.%202015%20-%20literature%20review.pdf>. Acesso em: 22 maio 2019.

PIRES, Gabriel Campos. **ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE CONTÊINERES USANDO O MÉTODO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

(DEA). 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

PJEVČEVIĆ, Danijela. **DEA WINDOW ANALYSIS FOR MEASURING PORT EFFICIENCIES IN SERBIA**. 2010. Disponível em:

<<https://pdfs.semanticscholar.org/a336/41782640e0d547caae332ddfdbb6638191bb.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

PJEVČEVIĆ, Danijela. **ANALYZING THE EFFICIENCY OF DRY BULK CARGO HANDLING AT THE INLAND PORT TERMINAL USING SIMULATION AND DEA**. 2013. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/260563392_ANALYZING_THE_EFFICIENCY_OF_DRY_BULK_CARGO_HANDLING_AT_THE_INLAND_PORT_TERMINAL_USING_SIMULATION_AND_DEA?_sg=PERbv09XdoFEoUhxrb53_d4ykbt6lnpsKGey1fkGEQqcEG0nkC1we7RdyolwCuum70bc061_WtAFwaxrQwk8WBhcOMH7euxkWkgQxOoG.ly-ooZFGqX0mV1Bz8tef-aZC8DYh8KbK2HlrX08sBhRdsiji2CjA19-BAXM-l2YnzLR3mRJ5GgVrPhYK8aCBOudw>. Acesso em: 15 maio 2019.

PROFILLIDIS, V. A.; BOTZORIS, G. N. **Evolution and Trends of Transport Demand**. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/topics/social-sciences/maritime-transport>>. Acesso em: 10 maio 2019.

ROLL, Y.; HAYUTH, Y. **Port performance comparison applying DEA**. *Maritime Policy and Management*, v. 20, n.2, p. 153-161, 1993.

SALIVARAS, Constantino. **Latin America – An overview**. 2014. Disponível em: <<http://www.standard-club.com/media/1557256/latin-america-an-overview.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SÁNCHEZ, Ricardo J.; DOERR, Octavio. **Indicadores de productividad para la industria portuaria. Aplicación en América Latina y el Caribe**. 2006. Disponível em:

<https://www.oas.org/cip/english/docs/areas_tecnicas/6_exelencia_gestion_port/3_in_d_de_produc.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2019.

SCHOTT, Dingena; LODEWIJKS, G.. **Analysis of Dry Bulk Terminals: Chances for Exploration**. 2007. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/243845399_Analysis_of_Dry_Bulk_Terminals_Chances_for_Exploration/citations>. Acesso em: 30 maio 2019.

SEREBRISKY, Tomás; SARRIERA, Javier Morales; SUÁREZ-ALEMÁN, Ancor. Exploring the drivers of port efficiency in Latin America and the Caribbean. **Elsevier**. Londres, p. 31-45. abr. 2015. Disponível em:

<file:///C:/Users/User/Downloads/ExploringtheDriversofPortEfficiencyinLatinAmericandtheCaribbean_SerebriskyMoralesSarrieraetal..pdf>. Acesso em: 18 maio 2019.

SHIPPING, International Chamber Of. **Shipping Facts**. 2017. Disponível em:

<<http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/shipping-facts>>. Acesso em: 02 out.2018.

SOBRAL, Filipe; PECL, Alketa. **Administração: teoria e prática no contexto brasileiro**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

THE Observatory of Economic Complexity. Disponível em: <<https://atlas.media.mit.edu/en/>>. Acesso em: 30 maio 2019.

TISCOSKI, Juliana da Silva. **Análise da eficiência operacional portuária, por meio da análise envoltória de dados: um estudo de caso dos complexos portuários públicos movimentadores de graneis sólidos agrícolas**. 2016. 105 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/168296/341645.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

VALENTE, Amir Mattar; PASSAGLIA, Eunice; CRUZ, Jorge Alcides. **Qualidade e Produtividade nos Transportes**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
VAN VIANEN, Teus; OTTJES, Jaap; LODEWIJKS, Gabriël. Simulation-based determination of the required stockyard size for dry bulk terminals. **Elsevier**. Delft, p. 119-128. jan. 2013. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1569190X13001901?token=4033AF52C560AD194BE71DD4A2C1605C8342A2EC43E44384FD2E34BFF4D221579B359CC96F363FAAB28884F97F06D50D>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

F.WANKE, Peter. **Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage network-DEA approach**. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X13000863>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

WANKE, Peter F.; BARBASTEFANO, Rafael Garcia; HIJJAR, Maria Fernanda. **Determinants of Efficiency at Major Brazilian Port Terminals**. 2011. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080%2F01441647.2010.547635>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

WANKE, Peter; PESTANABARROS, Carlos. **An analysis of African airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks**. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699715000241>>. Acesso em: 10 maio 2019.

WANKE, Altmetric Original Articles Efficiency In Nigerian Ports: Handling Imprecise Data With A Two-stage Fuzzy Approach Peter; NWAOGBE, Obioma R.; CHEN, Zhongfei. **Efficiency in Nigerian ports: handling imprecise data with a two-stage fuzzy approach**. 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080%2F03088839.2017.1410588>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

WILMSMEIER, Gordon; CULLINANE, Kevin P.b.; NOTTEBOOM, Theo. IAME 2012 – Contemporary studies on maritime transport in Latin America. **The Flagship Journal Of International Shipping And Port Research**. Londres, p. 1-7. maio 2012. Disponível em:

<<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03088839.2012.729700?needAccess=true>>. Acesso em: 18 abr. 2019.