



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES DA REGIÃO
NORTE ATRAVÉS DO MÉTODO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS: UMA
COMPARAÇÃO COM OS PRINCIPAIS TERMINAIS DE CONTÊINERES DO
BRASIL**

DENIELLE SOARES DA COSTA

**Belém – PA
Março/2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES DA REGIÃO
NORTE ATRAVÉS DO MÉTODO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS: UMA
COMPARAÇÃO COM OS PRINCIPAIS TERMINAIS DE CONTÊINERES DO
BRASIL**

DENIELLE SOARES DA COSTA

Dissertação de Mestrado Submetida ao Corpo
Docente do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará
como requisito necessário para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Naval.
Área de Concentração: Transporte Aquaviário
Orientador: Marcus Seraphico

**Belém – PA
Março /2020**

FICHA CATALOGRÁFICA

Costa, Denielle Soares da.

Análise da eficiência dos terminais de contêineres da região norte através do Método Análise Envoltória de Dados: uma comparação com os principais terminais de contêineres do Brasil / Denielle Soares da Costa -; orientador – Marcus Vinicius Guerra Seraphico de Assis Carvalho - Belém, 2020.

- 97 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Naval, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Marcus Seraphico.

1. Análise Envoltória de Dados. 2. Eficiência. 3. Desempenho portuário. I.
Título
UFPA / BC

Ficha catalográfica elaborada pela Universidade Federal do Pará

DENIELLE SOARES DA COSTA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES DA REGIÃO NORTE
ATRAVÉS DO MÉTODO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS: UMA COMPARAÇÃO
COM OS PRINCIPAIS TERMINAIS DE CONTÊINERES DO BRASIL**

Dissertação de mestrado submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em engenharia naval do instituto de tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito necessário para obtenção do título de mestre em Engenharia Naval.

Belém-PA, 10 de março de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Orientador:

Dr.Marcus Vinicius Guerra Seraphico de Assis Carvalho

Membro:

Dr.Nelio Moura de Figueiredo

Membro:

Dr.Hito Braga de Moraes

Membro:

Dra.Regina Célia Brabo Ferreira

“What you do today can improve all your tomorrows.”

Ralph Marston

Dedico essa dissertação aos meus queridos pais,
Antonio e Nonata, que tanto amo e que
sempre me apoiaram incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me permitir alcançar tantos sonhos.

Agradeço imensamente a minha família, minha mãe Nonata, meu pai Antonio e meu irmão Dênis, pelo amor e carinho, sempre me incentivando nos meus estudos, inclusive durante a realização dessa pesquisa. Devo a vocês mais essa conquista.

Ao professor Marcus Seraphico, agradeço pela orientação e disponibilidade na elaboração dessa pesquisa. Sempre contribuindo com seus ensinamentos desde os tempos de graduação.

Agradeço aos professores da PPGENAV, em especial os professores Nélio Moura e Hito Braga, pelos conhecimentos compartilhados durante o mestrado. Seus ensinamentos contribuíram diretamente para a realização dessa pesquisa.

RESUMO

O aumento da demanda na movimentação de contêineres é uma característica presente no panorama do setor portuário mundial. Além disso, com a competitividade cada vez mais crescente nesse setor, a eficiência tem se tornado um requisito essencial para a inserção de portos e terminais portuários no mercado internacional.

Os portos desempenham um papel importante no desenvolvimento social e econômico da região em que estão implantados. Dessa forma, é fundamental conhecer a eficiência dos terminais de contêineres da região norte para que sejam promovidas melhorias que impulsionem o setor portuário e conseqüentemente o crescimento econômico nessa região.

Neste contexto, essa pesquisa tem o objetivo de analisar a eficiência dos principais terminais de contêineres da região norte em comparação aos maiores terminais em movimentação de carga conteneirizada do Brasil. Para mensurar a eficiência foi utilizado o método análise envoltória de dados (DEA).

Em um primeiro cenário, tendo como base apenas o *output* movimentação de contêineres, os resultados mostraram que os terminais de contêineres possuem diferentes índices de desempenho, sendo os terminais da região norte os que apresentaram os piores escores de eficiência. Observou-se que uma das principais causas para a baixa eficiência dos terminais do norte do país decorre do fato de que os terminais da região estão funcionando abaixo de suas capacidades operacionais.

No segundo cenário, no qual foram utilizados como *outputs* a movimentação de contêineres e a prancha média operacional, apenas dois terminais localizados na região norte melhoraram seus desempenhos. Neste caso, constatou-se que os elevados tempos médios de operação e tempos de atracação influenciam no baixo desempenho dos terminais da região.

Portanto, a partir da análise da eficiência, busca-se contribuir com o planejamento e gestão no setor portuário para que os terminais de contêineres da região norte melhorem seus índices de eficiência.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados; Eficiência; Terminais de contêineres; Desempenho portuário.

ABSTRACT

Increasing demand for container throughput is a feature of the world port sector landscape. Moreover, with increasing competitiveness in this sector, efficiency has become an essential requirement for the insertion of ports and port terminals in the international market.

Ports play an important role in the social and economic development of the region in which they are located. Thus, it is essential to know the efficiency of container terminals in the northern region to promote improvements that boost the port sector and consequently economic growth in this region.

In this context, this research aims to analyze the efficiency of the main container terminals in the northern region compared to the largest terminals in throughput of containerized cargo in Brazil. To measure efficiency, the data envelopment analysis (DEA) method was used.

In a first scenario, based only on container throughput as output, the results showed that container terminals have different performance indexes, with terminals in the northern region having the worst efficiency scores. It was observed that one of the main causes for the low efficiency of terminals in the north of the country stems from the fact that terminals in the region are operating below their operational capacities.

In the second scenario, in which container throughput and the medium board were used as outputs, only two terminals located in the northern region improved their performance. In this case, it was found that the high delay time for load/unload cargo and delay time for mooring influence the low performance of the region's terminals.

Therefore, from the efficiency analysis, it seeks to contribute to the planning and management in the port sector so that the container terminals in the northern region improve their efficiency rates.

Keywords: Data envelopment analysis; Efficiency; Container terminal; Port performance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA	4
1.2 HIPÓTESE	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo geral.....	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
1.5 FLUXOGRAMA DO TRABALHO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PORTUÁRIO	8
2.2 MÉTODO DEA NO SETOR PORTUÁRIO.....	9
2.3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	13
2.3.1 Quantidade de fatores	15
2.3.2 Benchmarks.....	16
2.3.3 Metas.....	16
2.3.4 Fronteira invertida	16
3. METODOLOGIA	18
3.1 MODELAGEM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	19
3.1.1 Modelo DEA CCR	20
3.1.2 Modelo DEA BCC	24
3.2 DEFINIÇÃO DOS TERMINAIS UTILIZADOS NO ESTUDO.....	29
3.3 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS	32

3.3.1	Variáveis pré-selecionadas para a pesquisa	32
3.3.2	Seleção das variáveis analisadas através dos Métodos de Seleção de Variáveis	35
3.3.2.1	Seleção das variáveis com base no Método Compensatório de Normalização Única (CNU)	36
3.3.2.2	Seleção das variáveis com base no Método Multicritério Combinatório Inicial	37
4.	CARACTERIZAÇÃO DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES UTILIZADOS NO ESTUDO	39
4.1	TERMINAIS LOCALIZADOS NA REGIÃO NORTE.....	40
4.1.1	Terminal de Uso Privativo de Chibatão (Porto de Chibatão)	40
4.1.2	Terminal de Uso Privativo Super Terminais (Super Terminais Comércio E Indústria)	41
4.1.3	Terminal de Múltiplo Uso 1 (Porto de Vila Do Conde)	42
4.1.4	Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio (Chibatão Navegação e Comércio)	43
4.1.5	Terminal de Uso Privativo Passarão (Passarão).....	43
4.2	TERMINAIS LOCALIZADOS EM OUTRAS REGIÕES DO BRASIL	44
4.2.1	Tecon Santos Brasil (Porto de Santos)	44
4.2.2	Libra Terminais (Porto de Santos)	44
4.2.3	Paranaguá TCP (Porto de Paranaguá)	45
4.2.4	Terminal de Uso Privativo Portonave (Portonave Terminais Portuários De Navegantes)	45
4.2.5	Tecon Rio Grande (Porto Rio Grande)	45
4.2.6	Terminal de Uso Privativo Itapoá (Porto Itapoá Terminais Portuários).....	46
4.2.7	Terminal de Uso Privativo Dp World Santos (Dp World Santos)	46

4.2.8	Tecon Suape (Porto de Suape)	46
4.2.9	Tecon Salvador (Porto de Salvador).....	47
4.2.10	Multi Rio T2 (Porto do Rio de Janeiro).....	47
5.	RESULTADOS	48
5.1	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS	48
5.1.1	Escolha do modelo DEA para aplicação dos métodos de seleção de variáveis	48
5.1.2	Variáveis selecionadas com base no Método Compensatório de Normalização Única (CNU)	49
5.1.3	Variáveis selecionadas com base no Método Multicritério Combinatório Inicial ...	54
5.1.4	Definição das variáveis.....	57
5.2	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES	59
5.2.1	Análise dos modelos DEA CCR e BCC no cálculo da Eficiência dos terminais de contêineres.....	59
5.2.2	Eficiência dos terminais de contêineres.....	61
5.2.3	Eficiência de escala e retorno à escala.....	62
5.2.4	Benchmarks e metas	64
5.3	CÁLCULO DA EFICIÊNCIA CONSIDERANDO A PRANCHA MÉDIA OPERACIONAL E A MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES COMO <i>OUTPUTS</i>	67
6.	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM OUTRAS PESQUISAS PUBLICADAS QUE AVALIARAM A EFICIÊNCIA NO SETOR PORTUÁRIO.....	72
6.1	ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DOS PORTOS ORGANIZADOS BRASILEIROS.....	72
6.2	TERMINAIS DE CONTÊINERES NO BRASIL: EFICIÊNCIA INTERTEMPORAL..	73
7.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75

7.1 CONCLUSÕES	75
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
8. VIABILIDADE	78
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fronteira DEA BCC, clássica e invertida.....	17
Figura 2: Fluxograma da metodologia da pesquisa	18
Figura 3: Diferença entre orientação a input e orientação a output	20
Figura 4: Projeção das orientações na fronteira de eficiência do modelo DEA CCR	24
Figura 5: Projeção das orientações na fronteira de eficiência do modelo DEA BCC	25
Figura 6: Fronteira de produção para os modelos BCC e CCR	28
Figura 7: Mapa com os terminais da região norte analisados	30
Figura 8: Mapa com os terminais de outras regiões do Brasil analisados	31
Figura 9: Mapa com os terminais portuários analisados.....	40
Figura 10: Movimentação de contêineres por tipo de navegação em 2018	41
Figura 11: Movimentação de contêineres por tipo de navegação em 2018	42
Figura 12: Movimentação de contêineres por tipo de navegação em 2018	43
Figura 13: Escala de valores da correlação entre as variáveis input e output	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Aplicações do método DEA no setor portuário	13
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Movimentação de contêineres em relação ao total movimentado em 2018	30
Tabela 2: Conjuntos das DMUs selecionadas para análise da eficiência.....	32
Tabela 3: Dados operacionais dos terminais de contêineres em 2018.....	35
Tabela 4: Comparação entre os modelos DEA CCR e DEA BCC.....	49
Tabela 5: Etapa 1 do método CNU, modelo DEA CCR	50
Tabela 6: Etapa 2 do método CNU, modelo DEA.....	51
Tabela 7: Etapa 3 do método CNU, modelo DEA CCR	52
Tabela 8: Etapa 4 do método CNU, modelo DEA CCR	53
Tabela 9: Cenários gerados no método CNU, metodologia DEA CCR	53
Tabela 10: Etapa 1 do método Multicritério Combinatório Inicial, modelo DEA CCR	54
Tabela 11: Etapa 2 do método Multicritério Combinatório Inicial, modelo DEA CCR	55
Tabela 12: Etapa 3 do método Multicritério Combinatório Inicial, modelo DEA CCR	56
Tabela 13: Resultado dos métodos de seleção de variáveis	57
Tabela 14: Matriz de correlação entre os inputs e output analisados	57
Tabela 15: Resultado eficiência padrão e eficiência invertida DMU 11	59
Tabela 16: Resultado eficiência padrão e eficiência invertida nos modelos DEA CCR e BCC	60
Tabela 17: Resultado da eficiência nos modelos DEA CCR, DEA BCC e eficiência de escala	63
Tabela 18: Quantidades atuais, desejadas e as variações da movimentação de contêiner	65
Tabela 19: Quantidades atuais e desejadas de tempo médio de operação	67
Tabela 20: Resultado da eficiência no modelo DEA CCR	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Eficiência DEA CCR e movimentação em toneladas das DMUs analisadas	61
Gráfico 2: Eficiência de escala das DMUs analisadas	64
Gráfico 3: Prancha média operacional e movimentação de contêineres das DMUs analisadas	69
Gráfico 4: Tempo médio de operação, tempo de atracação e eficiência das DMUs analisadas	70

1. INTRODUÇÃO.

O transporte de contêineres se desenvolveu aceleradamente em todo o mundo, transformando radicalmente o mercado de remessas, principalmente nas últimas décadas, com o advento do contêiner como equipamento de transporte que adquire cada vez mais relevância (ZHANG e ZHU, 2018; SUÁREZ-ALEMÁN, 2016).

Apesar do uso de contêineres em serviços comerciais existirem desde a década de 1950, os padrões comerciais globais e as estratégias de globalização passaram a ser impactados pela containerização na década de 90 (RODRIGUE, 2013).

A crescente demanda na movimentação de contêineres tem definido o panorama do transporte mundial ao longo dos anos. Contudo, o volume global de contêineres movimentado sofreu uma desaceleração em 2018 em comparação aos anos anteriores, registrando 146.4 milhões TEUs, o que representa um crescimento de apenas 4% em relação ao ano de 2017 (IHS MARKIT, 2019).

Contrários a essa desaceleração, segundo a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe - CEPAL (2019), os portos da América Latina e Caribe ampliaram a movimentação de carga conteneirizada em 7,7% em 2018 em relação a 2017, sendo o Brasil um dos principais países responsáveis pelo incremento da movimentação na região.

O histórico de movimentação portuária no Brasil expressa um aumento, principalmente a partir de 2010. Os portos públicos e terminais privados brasileiros registraram 1,117 bilhão de toneladas no ano de 2018, em movimentação de carga, apontando um crescimento de 2,7% em relação ao ano anterior (ANTAQ, 2019).

De forma geral, todos os gêneros de carga apresentaram um crescimento na sua quantidade movimentada. Apesar de o granel sólido ser o principal perfil de carga movimentada nos portos brasileiros, a carga conteneirizada mostra uma expansão proeminente na sua movimentação nos últimos anos. Em comparação ao período 2017/2018, o crescimento na movimentação de contêineres foi de 4,8%, já os granéis sólidos tiveram um acréscimo de 2,4% no total movimentado (ANTAQ, 2019).

O deslocamento da carga conteneirizada ocorre principalmente nos portos organizados. Normalmente, os portos possuem um terminal arrendado especializado na operação desse tipo de carga (KIRCHNER; LUCAS, 2018). Os portos e terminais da região sul e sudeste são destaques na movimentação de contêineres no país. Em 2018

movimentaram 37,940,405.86 e 53,790,148.47 toneladas de contêineres, respectivamente, sendo o Porto de Santos o maior em movimentação de contêineres no país ANTAQ (2019).

A região norte, além de movimentar uma quantidade de contêineres inferior quando comparada a outras regiões do país, de acordo com dados da ANTAQ (2019), os portos da região norte movimentaram apenas 7.643.597,25 toneladas de um total de 113.321.168,46 toneladas de contêineres movimentados nos portos brasileiros em 2018, isso representa cerca de 7% de contêineres movimentados em relação ao total movimentado nesse período, também possui um número menor de portos e terminais que realizam esse tipo de operação. Contudo, com base no relatório ECSA Container Terminals Report 2019 que apresenta uma modelagem econômica desenvolvida pela empresa Datamar (2019), é a região norte que dispõe da maior taxa de crescimento na movimentação de contêineres no país, reflexo da cabotagem bastante presente na região. Logo, acredita-se que nos próximos anos, em decorrência da navegação de cabotagem, a expansão do transporte de carga containerizada no Brasil seja impulsionado pela região norte.

Para essa região o transporte aquaviário é essencial, além disso, consiste no principal modal pelo qual se realiza o abastecimento de cidades e a circulação de pessoas e mercadorias. A região conta com a maior malha hidroviária do Brasil, cerca de 18.300 km de hidrovias navegáveis (ANTAQ, 2007).

Apesar disso, Ribeiro et al. (2017) ressaltam que o norte do Brasil é caracterizado por cidades praticamente isoladas, consequência da grande quantidade de rios existentes nessa região e do reduzido acesso rodoviário. Dessa forma, a carência de investimentos em infraestrutura e o subdesenvolvimento da região em relação a outras regiões do país são marcantes no norte do Brasil.

Para muitos estudiosos o desenvolvimento socioeconômico de uma região está profundamente ligado a situação do sistema de transporte. O Sistema Portuário é um importante instrumento para desenvolvimento da economia dos países, os portos são considerados as principais portas de entrada e saída para o comércio exterior (GOMES; DOS SANTOS; COSTA, 2013). Para Farhadi (2015) o transporte pode fornecer benefícios para a economia, mediante a aceleração do acesso aos serviços e a abertura do mercado de exportação, ampliando a mobilidade dos mercados e dos trabalhadores, diminuindo as

disparidades de riquezas e aumentando o bem estar social. Para uma região que depende do transporte aquaviário, sistemas operacionais deficientes no escoamento de carga geram entraves econômicos e sociais (SANTOS et al., 2010).

Os portos também exercem uma função importante no comércio internacional, dado que o transporte da maioria das mercadorias no mundo ocorre através de navios e são movimentadas em portos (GRILO, 2014). Dessa forma, é fundamental para qualquer país que almeja sucesso no comércio mundial que seja promovido um desenvolvimento portuário adequado (MOON; WOO; KIM, 2018).

Avaliar o desempenho dos terminais e dos portos como um todo é relevante, pois permite visualizar os fatores positivos e negativos do setor portuário, apontam os componentes que necessitam de melhorias, auxiliando a gestão e o planejamento para que sejam alcançados melhores níveis de eficiência, além de promover o crescimento da região e do país onde estão implantados esses portos e terminais.

Nos últimos anos, alguns métodos vêm sendo aplicados na mensuração da eficiência de diversos setores, inclusive o portuário. Dentre essas metodologias, pode-se citar a análise envoltória de dados (DEA). O método DEA fornece várias possibilidades de análise, motivo pelo qual o método foi escolhido para o estudo, através do DEA é possível obter a eficiência comparativa entre unidades homogêneas, ou seja, do mesmo segmento, permite visualizar para as unidades ineficientes, as metas em longo prazo e as unidades eficientes (Benchmarks) que devem servir de orientação para que as unidades ineficientes melhorem seus desempenhos e alcancem a eficiência.

Diante do significativo papel dos portos para a economia de um país, além da importância do transporte aquaviário para a região norte, da crescente demanda no transporte de carga conteneirizada e da carência de pesquisas sobre o desempenho do setor portuário da região norte do Brasil, pretende-se primeiramente, analisar os principais terminais de contêineres da região norte em comparação com os maiores terminais do Brasil em relação à movimentação de contêineres tendo como base dados operacionais. Tendo com referência o ano de 2018, a análise será feita mediante o método Análise Envoltória de Dados (DEA) para que através dos resultados seja observado o desempenho dos terminais de contêineres da região norte, orientando gestores e planejadores do setor portuário na correção dos gargalos

para que sejam alcançados melhores índices de eficiência e assim se possibilite para região um crescimento econômico e social.

1.1 JUSTIFICATIVA

A prestação de serviços de forma eficiente, assim como a melhoria do desempenho de portos e terminais é fundamental perante a competitividade acentuada presente no setor portuário atualmente. O aumento no volume de carga transportada, principalmente de carga conteneurizada, devido o aumento no porte dos navios demandam por portos e terminais eficientes.

Além disso, os portos representam pontos essenciais que compõem o sistema de transporte mundial e têm realizado uma função importante para alavancar o crescimento da economia dos países (MOON; WOO; KIM, 2018).

Diante desse contexto, analisar a eficiência dos terminais de contêineres da região norte contrapondo com os principais terminais do país pode contribuir para que os terminais situados no norte do Brasil aprimorem seus serviços e infraestrutura e através disso, se promova uma maior competitividade para o setor portuário nacional. Além disto, se trata de uma região estratégica e com grande potencial hidroviário, através do conhecimento da eficiência dos terminais de contêiner da região, busca-se auxiliar na gestão e planejamento do setor portuário da região detectando ineficiências e pontos de melhorias. Portanto, sendo a qualidade dos portos e terminais um fator determinante para o fomento da economia, espera-se também contribuir para o desenvolvimento econômico da região e, por conseguinte, do país.

1.2 HIPÓTESE

Os terminais da região norte que movimentam cargas conteneurizadas possuem pouca eficiência operacional, apesar do potencial aquaviário existente na região.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são divididos em geral e específicos, como podem ser vistos nos itens a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar a eficiência operacional dos terminais portuários da região norte que movimentam contêineres através da comparação com os principais terminais de contêineres do país.

1.3.2 Objetivos específicos

- Mensurar e comparar a eficiência dos terminais de contêineres utilizando o método Análise Envoltória de Dados.
- Medir a eficiência de escala e o retorno à escala dos terminais de contêineres.
- Verificar os Benchmarks para as DMUs ineficientes e as metas de *inputs* e *output* para que os terminais ineficientes da região norte se tornem eficientes;

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo é composto por oito capítulos. O capítulo 1 se trata de um capítulo introdutório, composto basicamente pela introdução, justificativa, além de objetivos geral e específicos.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, em que primeiramente, são mostrados os conceitos e a relevância da avaliação do desempenho de um setor e posteriormente são expostos estudos publicados anteriormente que aplicaram o método Análise Envoltória de Dados (DEA) no setor portuário.

O capítulo 3 contém a metodologia da pesquisa. Nesse capítulo são apresentados conceitos e características sobre o método DEA utilizado para análise da eficiência, assim como são mostrados os métodos de seleção de variáveis empregados no estudo. Além disso, são expostos os critérios para a determinação dos terminais de contêineres e para a pré-seleção das variáveis que foram utilizados no estudo.

No capítulo 4 é realizada a caracterização dos terminais de contêineres que terão o desempenho analisado a partir do método proposto.

Os resultados da pesquisa são mostrados no capítulo 5. Nesse capítulo é demonstrada a definição dos indicadores empregados na análise da eficiência a partir dos métodos de seleção de variáveis, assim como são expostos a análise do modelo DEA empregado na pesquisa, os resultados do índice de eficiência e a análise do desempenho dos terminais de contêineres.

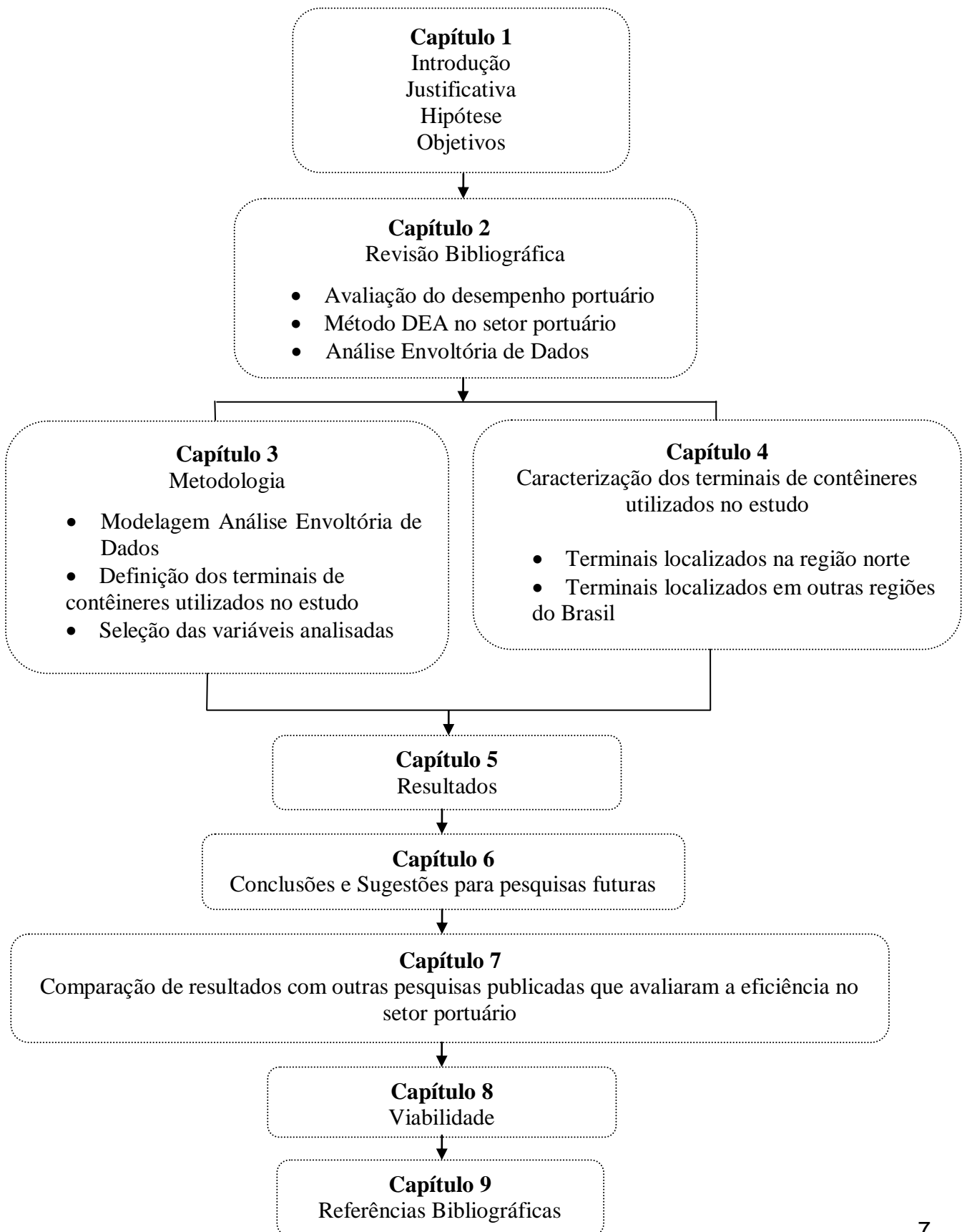
No capítulo 6 são mostradas as conclusões da pesquisa e sugestões para pesquisas futuras.

O capítulo 7 expõe a comparação de resultados com outras pesquisas publicadas que avaliaram a eficiência no setor portuário

O capítulo 8 apresenta a viabilidade da pesquisa.

Por fim, o capítulo 9 é composto pelas referências bibliográficas utilizadas no estudo.

1.5 FLUXOGRAMA DO TRABALHO



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PORTUÁRIO

A medição de desempenho pode ser conceituada como a atividade que determina as medidas de desempenho, sua extensão, grandeza e avaliação, buscando adequar, ajustar, proporcionar ou regular alguma atividade (BOND, 2002).

Em todas as áreas de gestão de negócios mensurar o desempenho das entidades exerce um papel importante, pois demonstra se as metas e objetivos foram alcançados e fornece orientações sobre como elas podem fazer melhorias (WOO; PETTIT; BERESFORD, 2011). Além disso, informa se os recursos estão sendo aplicados de maneira eficaz e eficientes (YU et al., 2014).

Para os portos o desempenho portuário é um fator relevante, sua relevância decorre do impacto na competitividade do porto e por isso esse fator deve ser analisado em qualquer porto. Recentemente, cada vez mais os agentes do setor portuário estão desenvolvendo e implementado políticas voltadas para melhorar o desempenho e a eficiência dos portos (ALHAMEEDI; SAID; MUDJIONO, 2018).

O setor portuário apresenta um cenário no qual a procura pela potencialização da capacidade de transporte de carga é crescente, dessa forma o aumento no transporte de carga por contêiner e o número de terminais de contêineres tem ganhado cada vez mais espaço. Notteboom (2008) ressalta que esse panorama exige a reorganização das cadeias logísticas para que os portos e terminais atinjam seus melhores desempenhos operacionais e assim estejam preparados para competir, inclusive, com outros modais de transportes.

A forte competição incentivou o interesse dos portos e terminais de contêineres na eficiência da aplicação de seus recursos, assim verificar o desempenho dos portos ou terminais é fundamental para que possam competir e permanecer com suas operações (ZHANG; ROE, 2019).

As principais metodologias utilizadas para analisar o desempenho do setor portuário e medir sua eficiência são a fronteira estocástica (SFA) e a análise envoltória de dados (DEA). Nguyen (2015) evidência que a diferença entre os resultados dos dois métodos consiste em

grande parte ao fato do SFA ser um método paramétrico, enquanto o DEA é um método não paramétrico.

A análise baseada em Fronteiras Estocásticas (SFA) é uma metodologia paramétrica e estima a eficiência técnica nos casos em que a função de produção é especificada (LOPEZ-BERMUDEZ, 2019). Diferentemente, a metodologia Análise Envoltória de Dados por ser um método não paramétrico, se baseia na programação matemática para calcular a eficiência relativa utilizando múltiplas variáveis (*input* e *output*). Pode-se acrescenta ainda o índice Malquist para avaliar o desempenho no setor portuário, o índice consiste em uma metodologia que analisa a produtividade de cada unidade de produção relativamente ao conjunto de unidades que se deseja comparar (KIRCHNER, 2013).

2.2 MÉTODO DEA NO SETOR PORTUÁRIO

O método Análise Envoltória de Dados (DEA) tem sido extensamente utilizado para análise da eficiência em diversos seguimentos. Vários autores também aplicaram o método DEA para analisar o desempenho do setor portuário, sendo que os primeiros estudos na área portuária foram realizados a partir da década de 90. A seguir serão apresentadas pesquisas utilizando o DEA tendo com temática o setor portuário.

Roll e Hayuth (1993) são considerados os precursores na aplicação da Análise Envoltória de Dados na área portuária. Utilizando dados hipotéticos que podem ser normalmente encontrados na base de dados dos portos, foi calculada a eficiência de 20 DMUs (portos). Para isso, os *inputs* utilizados foram: quantidade de funcionários, capital e tipo de carga. Já como *outputs*, os autores da pesquisa utilizaram: movimentação de carga, nível de serviço, satisfação do usuário e número de atracações.

Shøyen e Odeck (2013) também utilizaram o método DEA em seu estudo para analisar a eficiência de 24 portos que movimentam contêineres na Noruega, em outros países nórdicos e no Reino Unido. Utilizando dados referentes ao período de 2002 a 2008 consideraram como *inputs* : comprimento do cais, área do terminal, quantidade de guindaste de pórtico e quantidade de transportador de contêineres (straddle carriers). Como *outputs* foram empregados: quantidade de caminhão para movimentação de contêiner e movimentação de contêineres em TEUs. A pesquisa concluiu que durante os anos estudados os portos

analisados apresentaram uma boa evolução da eficiência, sendo que a melhora na escala de operações foi à principal responsável pelo o aumento da eficiência dos portos da amostra.

Grilo (2014) aplicou o DEA na análise do desempenho de terminais portugueses que movimentam carga geral. No estudo foram utilizados os modelos DEA CCR e DEA BCC para calcular os índices de eficiência. Para cada modelo, a autora analisou três cenários com diferentes *inputs* e *outputs*. Os resultados mostraram que o porte do terminal pode influenciar no resultado da eficiência, visto que alguns terminais são classificados como ineficientes ao serem comparados com terminais maiores, apesar de possuírem condições de operar com um bom desempenho.

Zahran et al. (2015) utilizaram a metodologia DEA através de uma abordagem diferente. Os autores analisaram a eficiência tendo como base a geração de receitas das autoridades portuárias. Considerando dois panoramas distintos, o primeiro teve como indicadores o número de navios atracados, o total de movimentação e o número de passageiros como *input*, e o total de receitas foi o *output* analisado. O segundo panorama considerou como variáveis de *input* a área de pátio, o número de berços e número de equipamentos de movimentação de carga e como *output* o total de receitas. Após a análise dos desempenhos da receita de cada autoridade portuária, os autores concluíram que o uso de melhores práticas através do gerenciamento dos recursos de forma adequada é determinante para que as autoridades portuárias alcancem uma geração de receitas eficientes.

Tendo como área de estudo uma região importante para a rota marítima internacional, Almawshaki e Shah (2015) analisaram a eficiência, através do método DEA, de 19 terminais de contêineres implantados no Oriente Médio usando o modelo DEA CCR orientado a *input*. No resultado, apenas 3 terminais de contêineres da amostra foram classificados como eficientes. Os autores apontam que a constante tensão existente no Oriente Médio interfere no desempenho dos terminais implantados nessa área. Por ser uma região heterogênea, principalmente nas formas de governo, os autores sugerem que novas pesquisas devam ser realizadas para avaliar a eficiência dos terminais de contêineres da região considerando esse aspecto.

Utilizando o método DEA, Tetteh, Yang e Gomina Mama (2016) analisaram a eficiência de portos chineses e africanos, através das seguintes variáveis: movimentação e

quantidade de atracções como *outputs*, e comprimento do cais, número de guindastes e número de berços como *inputs*. O resultado revelou que os portos chineses estão funcionando acima de suas capacidades o que influencia de maneira negativa no desempenho desses portos.

O objetivo da pesquisa de Kutin, Nguyen e Vallée (2017) foi analisar a eficiência de 50 portos e terminais asiáticos que movimentam carga conteneirizada utilizando a metodologia DEA. O estudo apontou que os portos e terminais asiáticos analisados apresentam bons índices de eficiência e possuem condições de operar com maiores volumes de contêineres.

A pesquisa de Kirchner e Lucas (2018) teve como amostra 19 terminais de contêineres brasileiros, sendo considerado como período de estudo os anos de 2010 até 2012. Os indicadores utilizados como *inputs* foram: prancha média de operação, consignação média do terminal, número de atracções e área do terminal. Como *output* foi usado a variável quantidade de contêineres movimentada em toneladas. Na pesquisa, além da eficiência, os autores também analisaram a produtividade dos terminais de contêineres através do índice de Malmquist, assim como realizou uma comparação com os resultados encontrados em outras pesquisas feitas na área. O cálculo da eficiência foi realizado a partir dos dois modelos DEA CCR e DEA BCC. Os resultados da pesquisa mostraram que o modelo DEA CCR é o mais apropriado para a avaliação do valor nominal e da evolução das eficiências dos terminais ao longo do tempo. Com relação ao desempenho dos terminais, apenas três terminais de contêineres se mostraram 100% eficientes durante o período analisado.

Julien, Cowie e Monios (2018) analisaram a evolução do desempenho ao longo de 11 anos, no período de 2001 a 2011 de 65 portos marítimos. Com uma amostra composta pelos 49 portos que mais movimentaram carga em 2011 com base no Containerisation International Yearbooks (2007), foram analisados 12 portos localizados no mar do Caribe, 4 no oceano Pacífico e 4 no oceano Índico. A partir dos modelos clássicos DEA CCR e DEA BCC calcularam a eficiência técnica. No estudo também foi analisada a produtividade dos portos da amostra. Julien, Cowie e Monios (2018) concluíram que os portos classificados como ineficientes tem como causa para a ineficiência o mau uso da capacidade existente nesses portos.

Recentemente, Gobbi et al. (2019) usaram a Análise Envoltória de Dados para analisar a eficiência na gestão de resíduos plásticos de áreas portuárias no Brasil. Gobbi et al. (2019) analisaram a eficiência com base em dois cenários, no primeiro as variáveis *input* e *output* foram: quantidade de resíduos sólidos e percentual de plásticos segregados em relação ao total de resíduos sólidos, respectivamente. No segundo cenário, utilizou como *input* a quantidade de resíduos plásticos segregados e como *output* percentual de plásticos reciclados em relação aos plásticos segregados. A pesquisa mostrou que os piores desempenhos estão na etapa de segregação plástica nas áreas portuárias brasileiras.

O Quadro 1 reuni as pesquisas apresentadas acima que utilizaram o método DEA para analisar a eficiência do setor portuário.

Autores	Modelo	Inputs	Outputs
Roll e Hayuth (1993)	DEA CCR	Quantidade de funcionários Capital Tipo de carga	Movimentação de carga Nível de serviço Satisfação do usuário Número de atracações
Shøyen e Odeck (2013)	DEA CCR e DEA BCC	Comprimento do cais Área do terminal Quantidade de guindastes de pórtico Quantidade de transportador de contêineres	Quantidade de caminhão para movimentação de contêiner Movimentação de contêineres
Grilo (2014)	DEA CCR e DEA BCC	Equipamento Número de berços Área de armazenagem Calado Comprimento de Cais	Movimentação de carga
Zahran et al. (2015)	DEA CCR	Número de navios atracados Total de movimentação Número de passageiros Área de pátio Número de berços Número de equipamentos de movimentação de	Total de receitas
Almawsheki e Shah (2015)	DEA CCR	Quantidade de guindaste de cais Área do terminal Comprimento do cais Calado Quantidade de equipamentos de cais	Movimentação de contêineres
Tetteh, Yang e Gomina Mama (2016)	DEA	Comprimento do cais Número de guindastes Número de berços	Movimentação de contêineres Quantidade de atracações
Kutin, Nguyen e Vallée (2017)	DEA CCR e DEA BCC	Profundidade do berço Área do pátio de contêineres Comprimento do cais Número de guindastes no cais Número de Empilhadeiras Número de caminhões	Movimentação de contêineres
Kirchner e Lucas (2018)	DEA CCR	Prancha média de operação Consignação média do terminal Número de atracações Área do terminal	Movimentação de contêineres
Julien, Cowie e Monios (2018)	DEA	Área do terminal Comprimento do berço Total de equipamentos no terminal	Movimentação de contêineres
Gobbi et al. (2019)	DEA BCC	Quantidade de resíduos sólidos Quantidade de resíduos plásticos segregados	Percentual de plásticos segregados em relação ao total de resíduos sólidos Percentual de plásticos reciclados em relação aos plásticos segregados

Quadro 1: Aplicações do método DEA no setor portuário

Fonte: Autor

2.3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) é uma técnica não paramétrica desenvolvida por Charnes, Rhodes e Cooper (1978), com base na

programação linear, para mensurar a eficiência relativa de unidades de produção, a partir de múltiplas entradas e múltiplas saídas.

Segundo Casado (2007), a metodologia DEA foi desenvolvida para determinar a eficiência de unidades produtivas, nas quais o aspecto financeiro não é importante. Logo, não é necessário transformar insumos e produtos em unidades monetárias.

As unidades de produção, denominadas Unidades Tomadoras de Decisão (Decision Making Unit – DMU), serão comparadas entre si. Para isso, as unidades devem ser homogêneas, ou seja, possuir os mesmos *inputs* (entradas) e produzir os mesmos *outputs* (saídas), além de pertencer ao mesmo segmento de atividade.

A análise de eficiência diz respeito ao desempenho de cada unidade na transformação de suas entradas em quantidades de saídas (OLYAIE et al, 2019). Portanto, para compreender as metodologias de análise de desempenho é fundamental entender conceitos como: produtividade, eficiência e fronteira de produção (GRILO, 2014).

A produtividade é definida como a razão das saídas pelos seus insumos (EMROUZNEJAD e CABANDA, 2015). Porém, quando a análise envolve mais de uma saída ou entrada, então o termo considerado é eficiência, a pesar de alguns autores utilizarem as duas palavras como sinônimas (ADEGOKE, 2018).

Os conceitos produtividade e eficiência estão conectados. Apesar dos termos serem usados como sinônimos, a eficiência não tem o mesmo significado preciso que a produtividade (JAYAMAHA; MULA, 2011).

A eficiência pode ser definida como o atributo de uma unidade de produção, no qual esta atinge o melhor rendimento com o mínimo erro e/ou gasto de recursos (JUBRAN, 2006). A eficiência resulta da comparação entre o desempenho alcançado e ótimo de uma organização, ou seja, obtém-se comparando os valores observados de produtos e fatores com seus valores ótimos. A meta ótima que a organização almeja alcançar é baseada em resultados ótimos alcançados por outras organizações (LOPEZ-BERMUDEZ; FREIRE-SEOANE; GONZALEZ-LAXE, 2018).

Para Andenoworih (2010), uma empresa é considerada eficiente se puder aumentar a quantidade produzida (*output*) com o uso de determinado recurso (*input*) ou puder produzir *outputs* usando uma quantidade menor de *inputs*.

A Análise Envoltória de Dados, assim como outros métodos de análise de desempenho, possui vantagens e limitações. A Análise Envoltória de Dados é uma técnica não paramétrica, sendo assim, para Tetteh, Yang e Gomina Mama (2016) uma das desvantagens do método é a falta de informações sobre significância estatística ou intervalos de confiança, além de não permitir fatores estocásticos e a medição de erros. Gameiro (2016) considera que uma das principais limitações da metodologia DEA é a ausência do poder de discriminação entre as unidades eficientes, que acontece quando a quantidade de unidades de produção analisadas é inferior a quantidade total de entradas e saídas.

A metodologia DEA apresenta como modelos matemáticos mais conhecidos, o modelo CCR (Charnes et al., 1978) e o modelo BCC (Banker et al., 1984). Portanto, a técnica DEA apresenta quatro modelos, ambos podem ser orientados a *input* ou a *output*.

- CCR orientado a *input* ou CCR orientado a *output*
- BCC orientado a *input* ou BCC orientado a *output*

Pode-se acrescentar ainda que, as principais modelagens dos modelos CCR e BCC são: a fracionária, a Primal orientada ao *input* ou a *output* e a Dual orientada a *input* ou a *output*.

Para Kirchner (2013) um ponto primordial é como uma unidade produtiva ineficiente se transformará em uma unidade produtiva eficiente. Será a orientação do modelo que irá apontar como uma DMU se tornará eficiente. Para isso há duas alternativas, orientação a *input* e a orientação a *output*. Para o modelo orientado a *input*, ocorre a diminuição da quantidade de recursos utilizados, mantendo-se constante a quantidade de produtos produzidos. No modelo orientado a *output*, ocorre o aumento da quantidade de produto produzido, mantendo-se constante a quantidade de recursos disponíveis.

2.3.1 Quantidade de fatores

Uma atenção especial deve ser dada ao número de *inputs* e *outputs* utilizados no modelo, visto que um grande número de fatores provoca baixo nível de discriminação, dado

que as DMUs que apresentarem a melhor relação de *inputs* e *outputs* do conjunto estarão na fronteira de eficiência. Portanto, recomenda-se que o número de DMUs utilizadas seja pelo menos $2m \times s$, onde $m \times s$ é o produto do número de *inputs* pelo número de *outputs*, verificando-se assim um nível razoável de discriminação (JUBRAN, 2006).

2.3.2 Benchmarks

São as unidades classificadas como eficientes que servem como referência para que as DMUs ineficientes melhorem seus desempenhos e se tornem eficientes (REBOLLEDO-LEIVA et al, 2019). Os benchmarks possuem as melhores práticas e podem ser usadas como diretrizes, apontando o que pode ser modificado nos *inputs* ou *outputs* das unidades ineficientes para que alcancem a fronteira de eficiência.

2.3.3 Metas

As metas são os valores desejados de *inputs* e *outputs* que as DMUs ineficientes devem alcançar para que se tornem eficientes (LIMA et al., 2016).

2.3.4 Fronteira invertida

Para Solgi (2019) a fronteira invertida consiste em um modelo invertido do DEA composta pelas DMUS com os piores desempenhos. O conceito de fronteira invertida foi apresentado por Yamada, Matui e Sugiyama (1994) e Entani, Maeda e Tanaka (2002), sendo que a fronteira invertida avalia as ineficiências e irá formar uma fronteira denominada fronteira ineficiente, composta pelas DMUs com as piores práticas gerenciais (SILVEIRA, 2012). A Fronteira Invertida apresenta as unidades que pior administram seus recursos (FERREIRA, 2019). A fronteira de ineficiência é obtida através da troca dos *inputs* com os *outputs* do modelo DEA original (SILVEIRA, 2012). Para uma DMU quanto menor a eficiências invertidas, melhor é o seu desempenho. Na Figura 1 é possível visualizar a fronteira clássica e a fronteira invertida, nesse caso para o modelo DEA BCC.

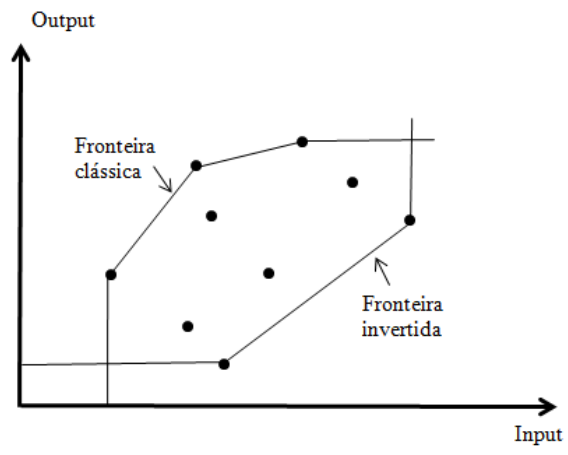


Figura 1: Fronteira DEA BCC, clássica e invertida
Fonte: Silveira, 2012

3. METODOLOGIA

A pesquisa analisou a eficiência operacional dos principais terminais que movimentam contêineres na Região Norte e no Brasil no ano de 2018.

A Agência Nacional de Transportes Aquaviário (ANTAQ) disponibiliza, através do Anuário Estatístico dos Portos, informações sobre portos organizados e terminais de uso privativo, dessa forma foi possível definir os Portos e as variáveis operacionais que seriam utilizadas na pesquisa.

Para a análise da eficiência proposta na pesquisa, foram utilizados os modelos DEA CCR e DEA BCC. A Figura 2 apresenta o fluxograma com as etapas seguidas ao longo da metodologia da pesquisa.

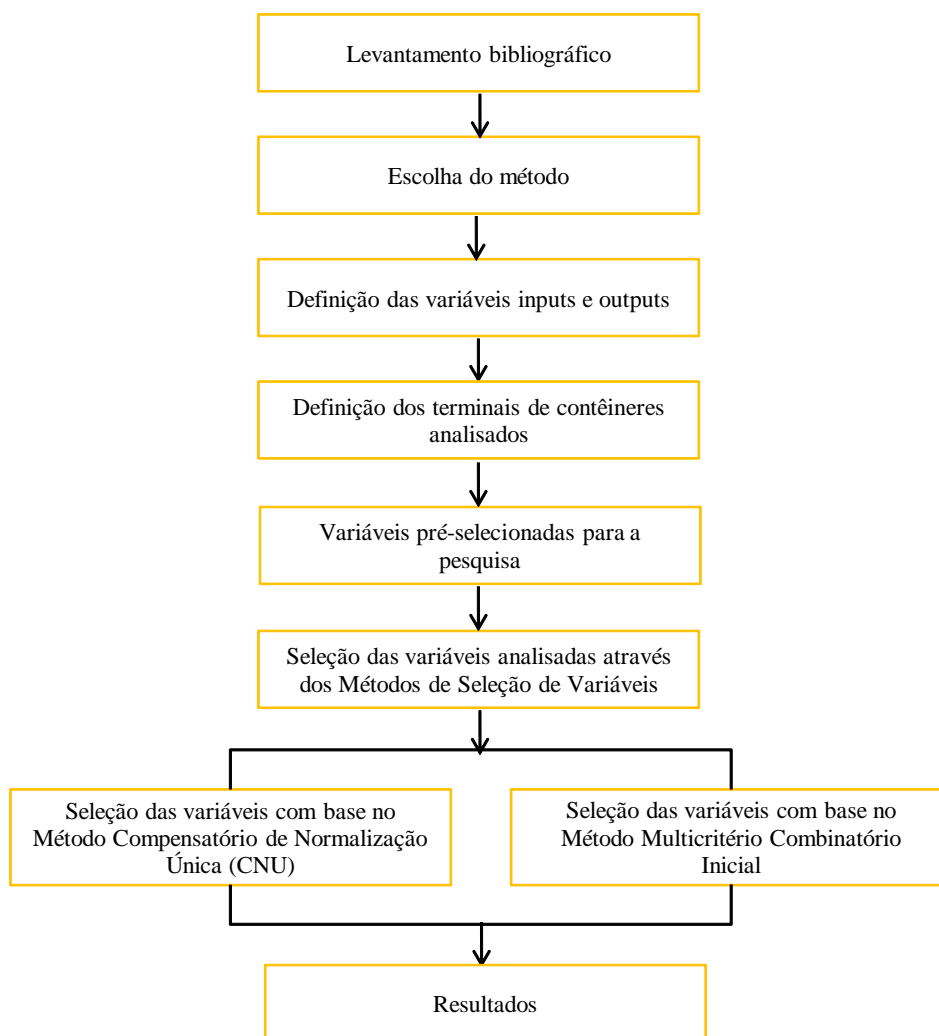


Figura 2: Fluxograma da metodologia da pesquisa
Fonte: Autor

Na aplicação do método DEA foi utilizado o programa Sistema Integrado de Apóio à Decisão (SIAD) v.3.0, desenvolvido por Meza et al. (2005).

3.1 MODELAGEM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Segundo Grilo (2014), a eficiência relativa ou comparativa para uma determinada unidade j é obtida pela relação proporcional entre saídas e entradas virtuais, de acordo com as equações (1) e (2). Na metodologia DEA a medida da eficiência varia de 0 a 1 ou de 0 a 100%.

$$\text{Eficiência } j = \frac{\text{saídas virtuais}}{\text{entradas virtuais}} \quad (1)$$

$$\text{Eficiência } j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, \quad j=1, \dots, n \quad (2)$$

Em que:

y_{rj} : representa a saída r da unidade j , $r = 1, \dots, n$

x_{ij} : representa a entrada i da unidade j , $i = 1, \dots, n$

v_i : representam pesos de cada entrada i

u_r : representam os pesos de cada saída r

s : número de *outputs*

m : número de *inputs*

O método DEA constrói uma fronteira de eficiência, chamada fronteira de produção, definida pelo nível máximo de *outputs* obtidos a partir de um determinado nível de *inputs*. A fronteira de produção servirá como referência, logo cada DMU receberá uma pontuação por meio da relação entre as DMU's analisadas e a fronteira de produção. Assim é possível avaliar a eficiência relativa de cada unidade produtiva a partir da comparação destas com a fronteira (KIRCHNER; LUCAS, 2018). Segundo Oliveira (2008), a fronteira de produção é gerada de acordo com o conceito de "Pareto-Koopmans", que afirma que uma DMU presente na fronteira é realmente eficiente somente se:

I. Nenhum dos *outputs* possa ser aumentado sem que algum *input* necessite ser aumentado, ou que algum outro *output* seja reduzido.

II. Nenhum dos *inputs* possa ser reduzido sem que algum input necessite ser aumentado, ou que algum outro *output* seja reduzido.

A Figura 3 mostra a fronteira de eficiência determinada por $f(x)$ e a DMU ineficiente P. A DMU P pode se tornar eficiente de duas formas: caminhando até o ponto A, buscando reduzir suas entradas ou caminhando até o ponto B, neste caso, aumentando seus produtos.

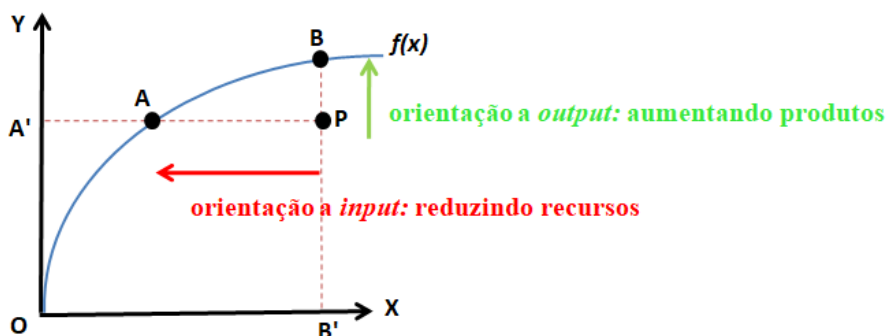


Figura 3: Diferença entre orientação a input e orientação a output
Fonte: Kirchner, 2013.

Na primeira situação, a eficiência corresponde a seguinte relação $\frac{A'A}{A'P}$ e na segunda, é definida por $\frac{B'B}{B'P}$ (KIRCHNER, 2013).

No que diz respeito às diferenças dos modelos, CCR e BCC, cada um possui um tipo de projeção da fronteira de eficiência, assim como diferentes tipos de eficiência e de retorno à escala.

3.1.1 Modelo DEA CCR

(CHARNES, COOPER e RHODES (1978) desenvolveram o primeiro modelo DEA, designado CCR, essa denominação faz referência aos autores do modelo. Esse modelo também conhecido como CRS (Constant Return to Scale) considera retornos constantes de escala, ou seja, à medida que ocorra uma variação positiva ou negativa nas entradas (*input*) será produzida uma variação proporcional nas saídas (*outputs*).

A modelagem fracionária foi à primeira modelagem CCR apresentada. De acordo com Mariano, Almeida e Rebelatto (2006) esta modelagem é obtida com base nas fórmulas de produtividade e de eficiência relativa. Ainda segundo estes autores, devido à dificuldade na

obtenção dos pesos no cálculo da eficiência relativa, foi necessário considerar que os pesos maximizam a eficiência relativa de uma unidade de produção.

A metodologia DEA considera que em um conjunto de dados de n DMUs ($j = 1, \dots, n$) são caracterizadas por m *inputs* e s *outputs*. Sendo x_{ij} a quantidade da entrada i até a unidade j e y_{rj} a quantidade da saída da unidade j . Cada DMU j_0 sob avaliação terá sua eficiência relativa determinada pela soma ponderada de seus *outputs* dividida por uma soma ponderada de seus *inputs*. As formulações, apresentadas a seguir, são baseadas em Kirchner (2013). A formulação matemática do Modelo CCR fracionário é dada por:

$$\max e_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0}} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, \quad j=1, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0 \quad \forall r, i$$

Em que:

e_{j_0} : eficiência da DMU em análise j_0

u_r : peso do *output* r

v_i : peso do *input* i

x_{ij} : quantidade do *input* i da DMU j

y_{rj} : quantidade do *output* r da DMU j

x_{ij_0} : quantidade do *input* i da DMU em análise j_0

y_{rj_0} : quantidade do *output* r da DMU em análise j_0

n : número de unidade em avaliação

s : número de *outputs*

m : número de *inputs*

O modelo de programação fracionária descrito em (3) recai em um problema de programação não-linear e possuem infinitas soluções. Contudo, Charne, Cooper e Rhodes (1978) converteram esse modelo fracionário em um modelo linear que possui apenas uma solução, para isso incluíram uma restrição, limitaram o denominador da função objetivo mostrada em (3), a uma constante, normalmente igual à unidade. A partir disso, surgiram os

modelos Primais ou modelo dos Multiplicadores, as equações (4) e (5) representam esse modelo.

CCR Primal orientado a *input*

$$\max e_{j_0} = \sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0} \tag{4}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0 \quad \forall r, i$$

CCR Primal orientado a *output*

$$\min h_{j_0} = \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} \tag{5}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0 \quad \forall r, i$$

Em que:

e_{j_0} : eficiência da DMU em análise j_0

h_{j_0} : inverso da eficiência da DMU em análise j_0

u_r : peso do *output* r

v_i : peso do *input* i

x_{ij} : quantidade do *input* i da DMU j

y_{rj} : quantidade do *output* r da DMU j

x_{ij_0} : quantidade do *input* i da DMU em análise j_0

y_{rj_0} : quantidade do *output* r da DMU em análise j_0

n : número de unidade em avaliação

s : número de *outputs*

m: número de *inputs*

O modelo primal ou modelo dos multiplicadores fornecem os valores das eficiências relativas, assim como os pesos atribuídos aos *inputs* e *outputs*. Este modelo de programação pode ser orientado a *input* representado em (1.4), neste caso a eficiência é definida mantendo os *outputs* constantes até o ponto em que os *inputs* podem ser minimizados para que a DMU analisada se torne eficiente. Na orientação a *output* (1.5) as DMUs analisadas terão que maximizar seus *outputs*, mantendo seus *inputs* constantes para que se tornem eficientes. Segundo Mariano, Almeida e Rebelatto (2006), a eficiência relativa da DMU avaliada será determinada pelo resultado da função objetivo (e_{j_0}) na orientação a *input* e o inverso dela (h_{j_0}), no caso da orientação a *output*. São ditas eficientes as DMUs que alcançam como resultado para suas eficiências valor igual a 1 ou 100%, sendo estas DMUs referência para as demais.

Baseado no Modelo Primal foi desenvolvido uma formulação dual equivalente, conhecida como Modelo do Envelope, que é capaz de fornecer além das eficiências, metas para as DMUs ineficientes. O conjunto de equações (6) e (7) representam o Modelo do Envelope (dual).

CCR Modelo do Envelope orientado a *input*

$$\min e_{j_0} = \theta_0 \tag{6}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j - \theta_0 \cdot x_{ij_0} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j \geq y_{rj_0}$$

$$\lambda_j, \theta_0 \geq 0 \quad \forall j$$

CCR Modelo do Envelope orientado a *output*

$$\max h_{j_0} = \eta_0 \tag{7}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j - \eta_0 \cdot y_{rj_0} \geq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j \leq x_{ij_0}$$

$$\lambda_j, \eta_0 \geq 0 \quad \forall j$$

Em que:

θ_0 : eficiência da DMU em análise j_0

η_0 : inverso da eficiência da DMU em análise j_0

λ_j : participação da DMU j na meta da DMU em análise j_0

x_{ij} : quantidade do *input* i da DMU j

y_{rj} : quantidade do *output* r da DMU j

x_{ij_0} : quantidade do *input* i da DMU em análise j_0

y_{rj_0} : quantidade do *output* r da DMU em análise j_0

n : número de unidade em avaliação

A representação geométrica da fronteira de eficiência do modelo CCR é linear (Figura 4), o que explica o fato da eficiência possuir o mesmo valor nas duas orientações (*input* e *output*).

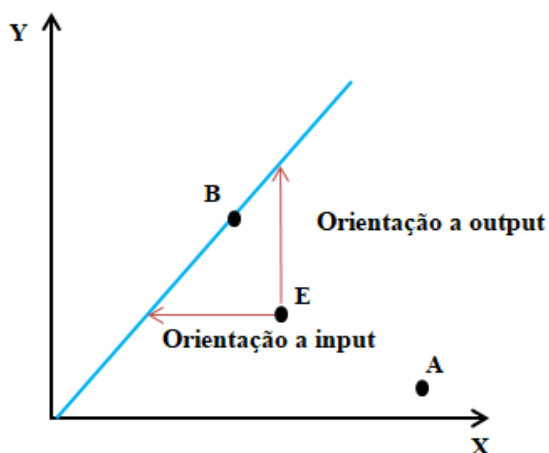


Figura 4: Projeção das orientações na fronteira de eficiência do modelo DEA CCR
Fonte: Souza et al., 2017.

3.1.2 Modelo DEA BCC

O modelo DEA BCC, elaborado por Banker, Charnes e Cooper (BANKER et al., 1984), cuja denominação é em homenagem a seus autores, foi o segundo modelo DEA apresentado. Tal modelo também é chamado VRS (*variable returns to scale*), pois trabalha

com retornos variáveis de escala, isto é, acréscimos no *input* poderão promover acréscimos no *output*, não necessariamente proporcionais, ou até mesmo decréscimos.

Diferentemente do modelo CCR, no modelo BCC o valor das eficiências irão depender de orientação. A projeção da fronteira também será diferente, de acordo com Mariano, Almeida e Rebelatto (2006), a fronteira BCC é definida por uma fronteira linear por partes, como mostra a Figura 5, constituída por retas de ângulos variados.

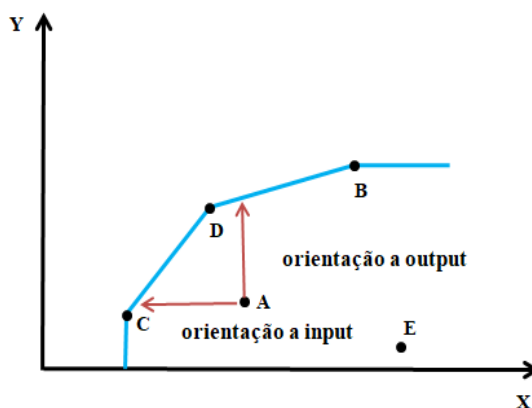


Figura 5: Projeção das orientações na fronteira de eficiência do modelo DEA BCC
Fonte: Meza, 1998.

A formulação matemática do Modelo Primal ou Modelo dos Multiplicadores com orientação a *inputs* e orientação a *outputs* é apresentado em (8) e (9), respectivamente:

BCC Primal orientado a *input*

$$\max e_{j_0} = \sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0} + \omega \quad (8)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} + \omega \leq 0 \quad j=1, \dots, n$$

$$\omega \in \mathbb{R}, v_i, u_r \geq 0$$

$\omega > 0$ (retorno crescente)

$\omega = 0$ (retorno constante)

$\omega < 0$ (retorno decrescente)

BCC Primal orientado a *output*

$$\min \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} + \varpi \quad (9)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0} = 1$$

$$-\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} + \varpi \geq 0 \quad j=1, \dots, n$$

$$\varpi \in \mathbb{R}, v_i, u_r \geq 0$$

$$\varpi < 0 \text{ (retorno crescente)}$$

$$\varpi = 0 \text{ (retorno constante)}$$

$$\varpi > 0 \text{ (retorno decrescente)}$$

Em que:

e_{j_0} : eficiência da DMU em análise j_0

h_{j_0} : inverso da eficiência da DMU em análise j_0

ω e ϖ : coeficientes de retorno de escala

u_r : peso do *output* r

v_i : peso do *input* i

x_{ij} : quantidade do *input* i da DMU j

y_{rj} : quantidade do *output* r da DMU j

x_{ij_0} : quantidade do *input* i da DMU em análise j_0

y_{rj_0} : quantidade do *output* r da DMU em análise j_0

n : número de unidade em avaliação

s : número de *outputs*

m : número de *inputs*

Nesta modelagem, cada DMU j_0 analisada do conjunto de n DMUs, ($j=1, \dots, n$), terá sua eficiência relativa dada por e_{j_0} na orientação a *input* e h_{j_0} na orientação a *output*, ao transformar m *inputs* em s *outputs*. Onde x_{ij} representa a quantidade da entrada i da unidade j e y_{rj} representa a quantidade da saída r da unidade j . Os pesos dados *input* i e *output* r são respectivamente, v_i e u_r . O fator de escala é dado por ω , na orientação a *input*, e ϖ , na orientação a *output*, que permite identificar se estão presentes ganhos de escala crescente,

decrecente e constante. Este fator não possui a restrição de não negatividade, admite então valores positivos e negativos.

Semelhante ao modelo DEA CCR, o modelo DEA BCC no Modelo dos Multiplicadores ou Modelo Primal possui o seu Modelo Dual (ou Modelo Envelope). O conjunto de equações em (10) representam o modelo envelope orientado a *input* e em (11) o modelo envelope orientado a *output*.

BCC Modelo do Envelope orientado a *input*

$$\min e_{j_0} = \theta_0 \quad (10)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j - \theta_0 \cdot x_{ij_0} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$y_{rj_0} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, \theta_0 \geq 0 \quad \forall j$$

BCC Modelo do Envelope orientado a *output*

$$\max h_{j_0} = \eta_0 \quad (11)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j - \eta_0 \cdot y_{rj_0} \geq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$x_{ij_0} \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, \eta_0 \geq 0 \quad \forall j$$

Em que :

θ_0 : eficiência da DMU em análise j_0

η_0 : inverso da eficiência da DMU em análise j_0

λ_j : participação da DMU j na meta da DMU em análise j_0

x_{ij} : quantidade do *input* i da DMU j
 y_{rj} : quantidade do *output* r da DMU j
 x_{ij_0} : quantidade do *input* i da DMU em análise j_0
 y_{rj_0} : quantidade do *output* r da DMU em análise j_0
 n : número de unidade em avaliação

Com o modelo BCC é introduzido o conceito de economia de escala. Nesta modelagem será calculada a eficiência técnica que será o resultado da razão entre a sua produtividade e a maior produtividade entre as unidades que apresentam retornos de escala semelhantes (MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006). Este modelo, segundo Belloni (2000), possibilita a utilização de DMUs com portes distintos.

No modelo BCC, presume-se unidades com retornos variáveis de escala, isto é, os retornos consideram que o acréscimo em uma unidade de insumo pode gerar um acréscimo não proporcional no volume de produtos, assim é possível identificar uma diferença entre a eficiência técnica e a eficiência de escala (MIRANDA, 2015).

De acordo com Mariano (2008), o modelo DEA BCC teve origem com base na divisão do modelo CCR em duas partes, a eficiência técnica e a eficiência de escala, como podem ser identificadas na Figura 6.

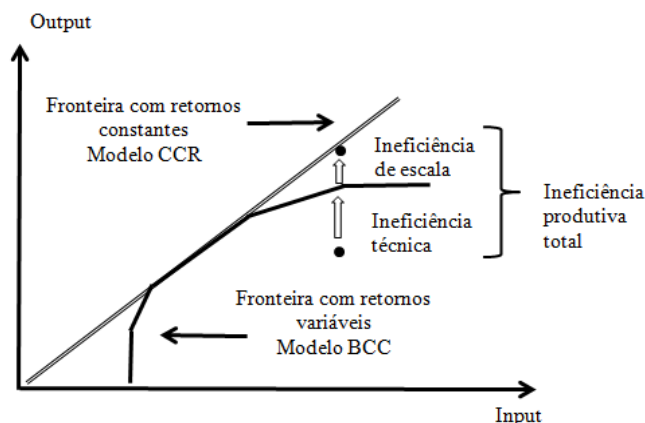


Figura 6: Fronteira de produção para os modelos BCC e CCR
 Fonte: Belloni, 2000.

Assim partir do cálculo da eficiência total e da eficiência técnica, obtidas pelas modelagens DEA CCR e DEA BCC, respectivamente, é possível calcular a eficiência de escala, que irá identificar se uma unidade esta funcionando abaixo ou acima de sua escala

ótima de produção. A eficiência de escala é a razão entre a eficiência total e a eficiência técnica, apresentada em (12).

$$\text{Eficiência de escala} = \frac{\text{Eficiência total}}{\text{Eficiência técnica}} \quad (12)$$

3.2 DEFINIÇÃO DOS TERMINAIS UTILIZADOS NO ESTUDO

Para a análise da eficiência foram escolhidos terminais que obtiveram elevada movimentação de carga conteneirizada nos portos ao qual fazem parte. Outro requisito para seleção dos terminais foi à disponibilidade de dados consistentes no período que se pretende estudar.

No ano de 2018, de acordo com a ANTAQ (2019), os portos brasileiros movimentaram um total de 113.321.168 toneladas (10.097.951 TEUs) de contêineres. A amostra selecionada é constituída pelos principais portos da região norte e do país em relação à movimentação de carga conteneirizada que são responsáveis por 85,53% da movimentação total de contêineres realizada no ano de 2018. A Tabela 1 mostra os portos selecionados, o ranking de movimentação de contêineres e a porcentagem de movimentação por porto em relação à total de contêineres movimentado no Brasil em 2018.

Posição	Porto Público e Privado	Movimentação de contêineres por porto em relação à movimentação de contêineres total no Brasil (%)
1°	Santos	32,26%
2°	Paranaguá	7,68%
3°	Rio Grande	7,61%
4°	Portonave - Terminais Portuários De Navegantes	7,09%
5°	Porto Itapoá Terminais Portuários	6,30%
6°	Dp World Santos	6,08%
7°	Suape	4,50%
8°	Salvador	3,76%
9°	Rio De Janeiro	3,55%
11°	Porto Chibatão	3,32%
15°	Super Terminais Comércio E Indústria	1,91%
16°	Vila Do Conde	1,24%
21°	Chibatão Navegação E Comércio	0,12%
22°	Passarão	0,12%
Total		85,53%

Tabela 1: Movimentação de contêineres em relação ao total movimentado em 2018
Fonte: ANTAQ, 2019.

Após a identificação dos portos de maior movimentação de contêineres que terão seus terminais analisados, as unidades decisoras (DMUs) foram selecionadas.

Na região norte foram selecionados 5 terminais, sendo eles: o Terminal de Uso Privativo de Chibatão (Porto de Chibatão), Terminal de Uso Privativo Super Terminais (Super Terminais Comércio e Indústria), Terminal de Múltiplo Uso 1 (Vila do Conde), Terminal de Uso Privativo Chibatão Navegação e Comércio (Chibatão Navegação e Comércio) e Terminal de Uso Privativo Passarão (Passarão). A Figura 7 mostra o mapa com a localização desses terminais.



Figura 7: Mapa com os terminais da região norte analisados
Fonte: Autor

Além dos terminais localizados na região norte, foram escolhidos 10 terminais localizados em outras regiões do Brasil que se destacaram em relação à movimentação de

contêineres no ano de referência para compor a amostra da pesquisa. Os terminais escolhidos são: Tecon Santos (Porto de Santos), Libra Terminais (Porto de Santos), Paranaguá TCP (Porto de Paranaguá), Terminal de Uso Privativo Portonave (Portonave - Terminais Portuários De Navegantes), Tecon Rio Grande (Porto de Rio Grande), Terminal de Uso Privativo Itapoá (Porto Itapoá Terminais Portuários), Terminal de Uso Privativo Dp World Santos (Dp World Santos), Tecon Suape (Porto de Suape), Tecon Salvador (Porto de Salvador) e Multi Rio T2 (Porto do Rio De Janeiro). A localização desses 10 terminais de contêineres pode ser observada na Figura 8.

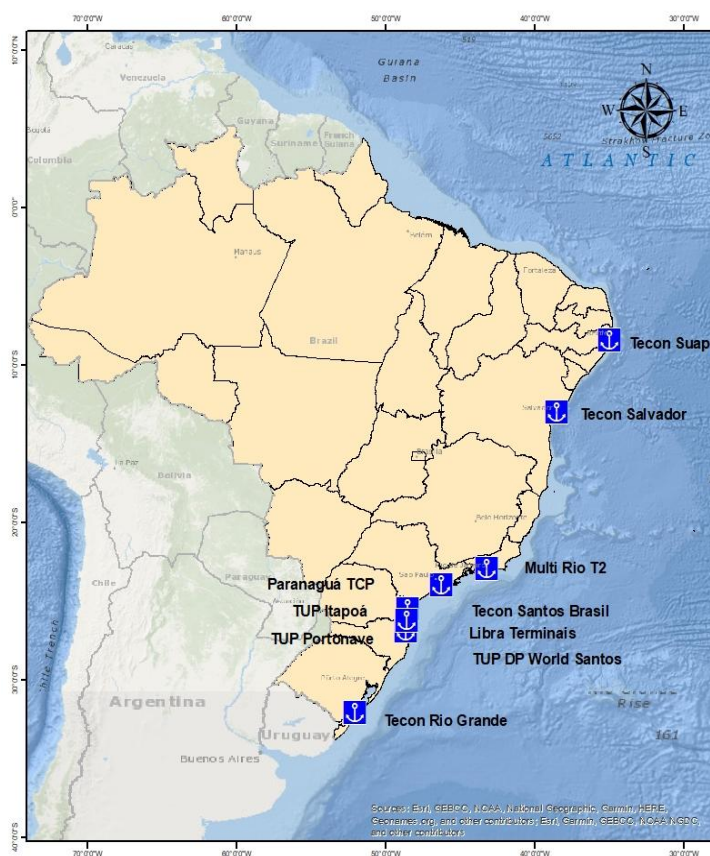


Figura 8: Mapa com os terminais de outras regiões do Brasil analisados
Fonte: Autor

Nos portos que possuem mais de um terminal que movimentam contêineres, optou-se por analisar os terminais que mais contribuíram para a movimentação de contêineres no porto em 2018. O Porto de Santos possui o cais público e cinco terminais especializados na movimentação de contêineres, neste caso foram considerados os dois terminais que mais movimentaram este tipo de carga no período de referência.

Portanto, definiu-se que 15 unidades tomadoras de decisão (DMUs) teriam sua eficiência analisada por meio da metodologia DEA. Na Tabela 2 podem ser visualizadas as DMUs com suas respectivas movimentações de contêineres em 2018.

DMU	Portos/Terminal	Movimentação (t)	UF
DMU - 01	Porto de Santos - Terminal Santos Brasil	16.135.674,68	SP
DMU - 02	Porto de Santos - Libra Terminais	4.966.772,29	SP
DMU - 03	Porto Paranaguá - Paranaguá TCP	8.697.943,52	PR
DMU - 04	Terminal de Uso Privativo Portonave	7.378.231,66	SC
DMU - 05	Porto Rio Grande - Tecon Rio Grande	8.619.326,14	RS
DMU - 06	Porto Itapoá Terminais Portuários - Terminal de Uso Privativo Itapoá	7.138.566,56	SC
DMU - 07	Terminal de Uso Privativo Dp World Santos	6.884.518,00	SP
DMU - 08	Porto de Suape - Tecon Suape	4.929.341,00	PE
DMU - 09	Porto de Salvador - Tecon Salvador	4.247.018,00	BA
DMU - 10	Porto do Rio De Janeiro - Multi Rio T2	2.497.938,00	RJ
DMU - 11	Terminal de Uso Privativo de Chibatão	3.764.453,56	AM
DMU - 12	Terminal de Uso Privativo Super Terminais	2.167.411,96	AM
DMU - 13	Porto de Vila Do Conde - Terminal de Múltiplo Uso 1	1.402.628,23	PA
DMU - 14	Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio	136.803,68	AM
DMU - 15	Terminal de Uso Privativo Passarão	132.961,19	RO

Tabela 2: Conjuntos das DMUs selecionadas para análise da eficiência
Fonte: ANTAQ, 2019.

3.3 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS

3.3.1 Variáveis pré-selecionadas para a pesquisa

O setor portuário tem sido objeto de estudo de vários autores que buscam analisar o desempenho desse setor a partir da análise envoltória de dados (DEA), como pode ser observado no Capítulo 2 (seção 2.2). Diante disso, existe uma grande quantidade de indicadores que podem ser utilizados para analisar a eficiência portuária.

Para a pesquisa, as variáveis definidas tiveram como base a finalidade desse estudo, assim como *inputs* e *outputs* utilizados em pesquisas publicadas que avaliaram a eficiência de portos que movimentam contêineres.

Optou-se por utilizar indicadores operacionais, uma vez que, segundo HSU (2013), a melhor forma de alcançar bons desempenhos no sistema de transporte é aperfeiçoando as operações nos portos e terminais, visto que o setor operacional representa a parcela mais complexa desse sistema.

A quantidade de contêineres movimentada foi selecionada como *output* da pesquisa, devido à relevância desse indicador para a eficiência portuária. A movimentação de contêineres se tornou a variável mais utilizada como *output* e também a mais aceita para medir a eficiência de portos (Julien; Cowie; Monios, 2018). Isto pode ser observado na Seção 2.2, que mostra a ampla utilização dessa variável em estudos publicados anteriormente. Para Gomes e Ribeiro (2013), a movimentação de carga influencia a eficiência de um porto, visto que quanto maior a eficiência desse porto, maior o seu potencial para movimentação. Além disso, segundo Cullinane e Wang (2006) a importância da movimentação de contêineres se deve ao fato de que esta variável constitui a base para a geração de receitas de um porto ou terminal de contêineres, sendo também a movimentação de contêineres um indicador elementar para a comparação entre os portos, principalmente no que se refere à avaliação do tamanho relativo, magnitude do investimento, níveis de atividade e produção portuária.

Buscou-se utilizar, a partir dos dados disponíveis no anuário da ANTAQ, insumos relativos à operação que influenciam na movimentação de carga nos portos. Dessa forma, as variáveis pré-selecionadas como *input* para a análise da eficiência foram: **Quantidade de Atracações** (QATRAC), **Consignação média do terminal** (CONSIG MED), **Tempo médio de operação** (TMOP) e **Prancha média operacional** (PMOP).

A quantidade de atracções corresponde ao número de atracções em que ocorrem movimentações de carga. Esse indicador influencia diretamente a movimentação de contêineres, na medida em quanto maior a quantidade de navios que atracam em um porto, maior será a movimentação neste porto (KICHNER; LUCAS 2018).

A Consignação média representa a quantidade média carregada e/ou descarregada por navio no porto. É um indicador importante, pois demonstra o padrão do porte de navios que operam em um porto (CABRAL, 2014). Também, auxilia no planejamento de operação de mercadorias, uma vez que informa a quantidade de carga movimentada esperada dos navios (ARRUDA; NOBRE JÚNIOR; MAGALHÃES, 2008). A Consignação média é obtida a partir da Equação (13).

$$\text{CONSIG MED} = \frac{\text{Somatório das unidades movimentadas}}{\text{nº de atracações}} \quad (13)$$

A quantidade média de tempo necessária para um navio realizar as operações de carga e descarga em uma atracação é denominado tempo médio de operação. Esse indicador exerce influência na movimentação de contêineres de maneira inversa (KICHNER, 2013). Portanto, portos que possuem elevados tempos de operação produzem maiores taxas de ocupação dos berços e conseqüentemente a quantidade de navios que podem atracar é menor, sendo a movimentação de cargas nesses portos menores.

A quantidade média de contêineres movimentados por navio em um determinado tempo de atracação no porto corresponde à prancha média de operação, nesse estudo o tempo de atracação foi considerado em horas. A prancha média é um importante indicador que mede a produtividade média de um porto, informação fundamental para o planejamento de um porto, pois a partir desta referência o planejador irá analisar a necessidade de melhorias na infraestrutura portuária para demanda de um porto (ARRUDA; NOBRE JÚNIOR; MAGALHÃES, 2008). A Prancha média operacional é calculada segundo a Equação (14).

$$\text{PMOP} = \frac{\text{Somatório das unidades movimentadas}}{\text{Tempo atracado em h}} \quad (14)$$

A Tabela 3 mostra os dados obtidos referentes à atividade operacional das DMUs analisadas no ano de 2018.

DMU	INPUT			PMOP (contêineres/h)	OUTPUT MOV (t)
	QATRAC (un)	CONSIG MED (un/atracação)	TMOP (h)		
DMU - 01	802,00	20.119,30	16,20	68,00	16.135.674,68
DMU - 02	310,00	16.021,85	19,20	51,00	4.966.772,29
DMU - 03	729,00	11.931,34	9,20	65,00	8.697.943,52
DMU - 04	524,00	15.329,00	7,90	99,00	7.378.231,66
DMU - 05	749,00	11.507,78	10,90	54,00	8.619.326,14
DMU - 06	517,00	13.808,00	10,80	62,00	7.138.566,56
DMU - 07	390,00	17.653,00	12,80	79,00	6.884.518,00
DMU - 08	449,00	10.978,00	10,60	55,00	4.929.341,00
DMU - 09	460,00	9.233,00	8,50	50,00	4.247.018,00
DMU - 10	340,00	7.347,00	8,40	44,00	2.497.938,00
DMU - 11	107,00	35.181,81	48,70	36,00	3.764.453,56
DMU - 12	186,00	11.652,75	28,50	26,00	2.167.411,96
DMU - 13	204,00	6.875,63	25,60	15,00	1.402.628,23
DMU - 14	200,00	684,00	1,70	22,00	136.803,68
DMU - 15	198,00	672,00	1,90	20,00	132.961,19

Tabela 3: Dados operacionais dos terminais de contêineres em 2018

Fonte: ANTAQ, 2019.

Com os dados dos indicadores pré-selecionados das unidades tomadoras de decisão foi possível realizar a aplicação dos métodos de seleção de variáveis para a definição das variáveis *inputs* a serem utilizadas no estudo, e assim a obtenção da eficiência de cada DMU.

3.3.2 Seleção das variáveis analisadas através dos Métodos de Seleção de Variáveis

É recomendado que haja um equilíbrio entre a quantidade de variáveis e DMUs analisadas, visto que um elevado número de variáveis reduz a habilidade de discriminação do método (LIMA, 2018). Para Sousa Júnior (2013), uma grande quantidade de variáveis pode proporcionar um elevado número de DMUs na fronteira de eficiência, assim a seleção de variáveis é uma etapa importante para a escolha dos *inputs* e *outputs* relevantes na mensuração da eficiência das DMUs. Ainda segundo Sousa Júnior (2013), a seleção das variáveis pode ser realizada através do conhecimento de especialistas, assim como por algum método estatístico ou multicritério.

Para a escolha das variáveis foram utilizados dois métodos de seleção de variáveis, o Método Compensatório de Normalização Única (CNU) e o Método Multicritério Combinatório Inicial. Além dos métodos de seleção de variáveis, o grau de correlação entre as variáveis *inputs* e *output* foi considerado para a seleção final das variáveis utilizadas na pesquisa.

3.3.2.1 Seleção das variáveis com base no Método Compensatório de Normalização Única (CNU)

O Método compensatório de normalização única (CNU) foi apresentado por Meza et al. (2007). O método CNU é baseado no Método Multicritério Combinatório por Cenários, contudo diferentemente do método por cenários, a normalização realizada no método CNU não considera os valores máximos e mínimos das eficiências e a quantidade de DMUs eficientes, logo é baseada nos valores extremos teoricamente alcançáveis (MEZA et al., 2007).

No método CNU os indicadores são selecionados a partir dos cenários de *inputs-outputs* que possuem o maior índice S. Além disso, são também levados em consideração a eficiência média e o número de DMUs na fronteira de eficiência. O índice S é calculado a partir da Equação (15).

$$S = S_{EF} + S_{DIS} \quad (15)$$

Em que:

S_{EF} : eficiência média normalizada.

S_{DIS} : poder de discriminação normalizado.

A eficiência média normalizada (S_{EF}) e o poder de discriminação normalizado (S_{DIS}) são obtidos a partir das equações (16) e (17), respectivamente.

$$\text{Eficiência média} = \frac{S_{EF}}{10} \quad (16)$$

$$S_{DIS} = 10 \frac{n-N}{n-1} \quad (17)$$

Em que:

n: número de DMUs eficientes.

N: quantidade de DMUs analisadas.

Para a aplicação do método devem ser seguidas as seguintes etapas:

1. Para cada par *input-output* calcular a eficiência de cada DMU usando o método DEA.
2. Calcular a eficiência média de cada par *input-output*.
3. Determinar o número de DMUs na fronteira de eficiência.
4. Normalizar a eficiência média (S_{EF}) e o número de DMUs eficientes (S_{DIS}).

5. Calcular o índice S.
6. Selecionar o par inicial com maior valor do índice S para a etapa seguinte.
7. Adicionar uma variável ao par *input-output* selecionado anteriormente e a partir da eficiência calculada de todas as DMUs para cada par, calcular novamente a eficiência média.
8. Determinar, novamente, o número de DMUs na fronteira de eficiência.
9. Novamente, normalizar a eficiência média (S_{EF}) e o número de DMUs eficientes (S_{DIS}).
10. Novamente, obter o índice S.
11. Selecionar o par inicial com maior valor do índice S para a etapa seguinte. Após essa etapa, voltar para etapa 7.

Quando todas as variáveis tiverem sido testadas, escolher o modelo com base no resultado final que apresentou o maior valor do índice S.

3.3.2.2 Seleção das variáveis com base no Método Multicritério Combinatório Inicial

O segundo método da categoria multicritério, o Método Multicritério Combinatório Inicial, remove a subjetividade presente em alguns métodos de seleção de variáveis. Neste método o decisor não emite opinião sobre os indicadores que devem estar contidos no modelo (SENRA et al, 2007; KIRCHNER, 2013).

Este método concilia a boa relação causal entre as variáveis, obtida mediante o ajuste à fronteira calculado através da eficiência média, com a capacidade de discriminação entre as DMUs, realizada através da quantificação das unidades tomadoras de decisão na fronteira de eficiência (FREITAS, 2017). As etapas do método são descritas a seguir:

1. Para cada cenário de *input-output* calcular a eficiência de cada DMU usando o método DEA.
2. Calcular a eficiência média de cada cenário *input-output* analisado. Posteriormente, devem ser normalizadas as eficiências médias, originando a variável S_{EF} . A normalização será feita através de uma interpolação que atribua valor 1 à maior eficiência média e 0 à menor.

3. Quantificar o número de DMUs na fronteira de eficiência para cada cenário. Esse valor será normalizado e chamado de S_{DIS} . A normalização será realizada interpolando os valores, onde será atribuído 1 ao cenário que possuir o menor número de DMUs eficientes e o valor 0 ao cenário com maior número de DMUs eficientes.
4. Calcular o índice S através da média ponderada entre S_{EF} e S_{DIS} . Sendo o índice calculado através da fórmula: $S = \omega \cdot S_{EF} + (1 - \omega) \cdot S_{DIS}$. Neste método, o valor de ω é igual a 0,5, a intenção é reduzir a quantidade de informação solicitada ao decisor.
5. Escolher o cenário com maior índice S. Visto que o cenário que possui o maior índice combina uma boa ordenação e uma boa relação causal, ou seja, alto valor de S_{DIS} e S_{EF} , respectivamente.

Após o término de cada etapa deve ser verificada a relação entre número de DMUs e número de variáveis, sendo o número de variáveis o total de *inputs* e *outputs*. O método deve ser finalizado no momento em que n vezes o número de variáveis ultrapassarem o número de DMUs. Gonzalez-Araya (2003) recomenda utilizar o quádruplo do número de variáveis. Caso contrário, prossegue-se o método adicionando mais uma variável até que ponto de parada seja atendido.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES UTILIZADOS NO ESTUDO

No Brasil, a Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP) tem como responsabilidades os programas, projetos e as políticas de apoio ao desenvolvimento do sistema portuário brasileiro (ANDRADE, 2019). De acordo com a SEP (2017), o sistema portuário brasileiro tem 37 portos organizados, os portos organizados são portos administrados pela União, neste caso as Companhias Docas, os delegados a Municípios, aos Estados ou a consórcio público. Além dos portos organizados, atualmente existem 164 Terminais de Uso Privado (TUPs), cuja exploração das atividades portuárias incide sob o regime da iniciativa privada (CORRÊA, 2017).

A Figura 9 mostra o mapa com os terminais de contêineres da região norte e de outras regiões do Brasil que tiveram a eficiência analisada.



Figura 9: Mapa com os terminais portuários analisados

Fonte: Autor

4.1 TERMINAIS LOCALIZADOS NA REGIÃO NORTE

4.1.1 Terminal de Uso Privativo de Chibatão (Porto de Chibatão)

O Porto de Chibatão, terminal de uso privado, implantado à margem esquerda do Rio Negro, consiste no terminal que mais movimentava contêineres na região norte. Alcançou em 2018 uma movimentação de contêineres, segundo dados da ANTAQ (2019), de 3.764.453,56 toneladas, colocando o terminal em 11º lugar no ranking nacional.

O TUP Chibatão, possui um cais flutuante com calado natural de 20 metros, no qual as embarcações podem atracar em 4 berços presentes no cais. Com relação à área, o terminal possui 217.000 metros quadrados, já o cais flutuante do terminal apresenta 431 metros de comprimento.

A navegação de Cabotagem representa a principal forma de navegação atendida pelo TUP Chibatão. De acordo com a ANTAQ (2019), em 2018 a movimentação de contêineres por cabotagem correspondeu a 66,20% do total de contêineres movimentados no terminal, como mostra a Figura 10.

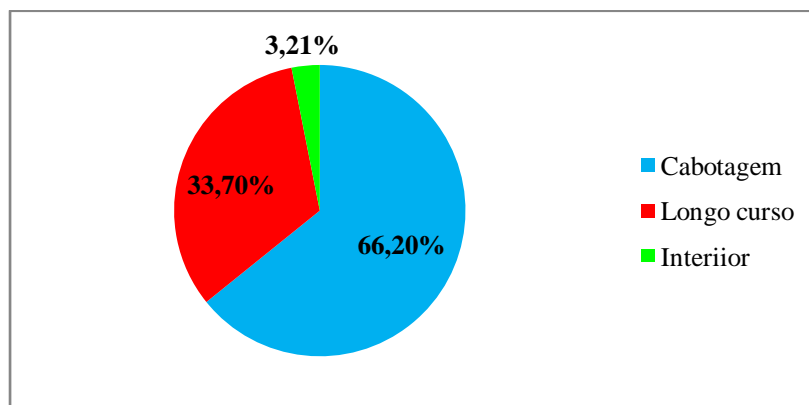


Figura 10: Movimentação de contêineres por tipo de navegação em 2018
Fonte: Adaptado de ANTAQ, 2019.

De acordo com o Plano Mestre do Porto de Manaus (2013), o terminal possui 218 mil metros quadrados de área secundária destinada para movimentação de cargas de cabotagem.

4.1.2 Terminal de Uso Privativo Super Terminais (Super Terminais Comércio E Indústria)

O TUP Super Terminais é um terminal privado, situado no Rio Negro e o segundo maior terminal da região norte em movimentação de carga conteneirizada. Em 2018 movimentou 2.167.412 toneladas de contêineres, sendo então o 15º terminal que mais movimentou esse tipo de carga no país.

O terminal possui um cais flutuante de 300 metros e uma área total de 104 mil metros quadrados. Além disso, dispõe de 9 mil metros quadrados de área de armazenagem.

No ano de 2018, operação de contêineres referentes à navegação por cabotagem foi maior, assim como no TUP Chibatão, como mostra a Figura 11.

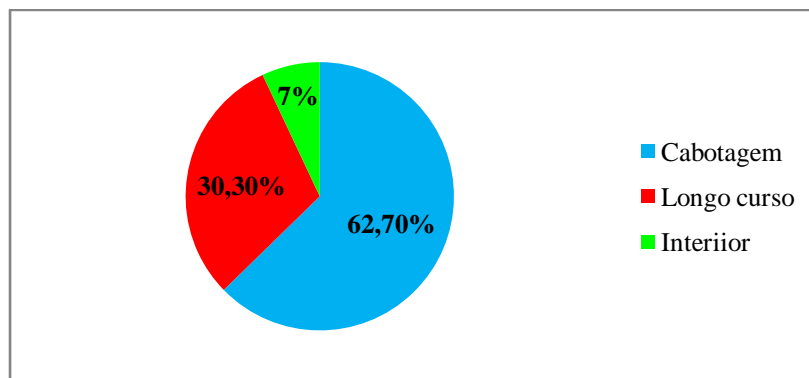


Figura 11: Movimentação de contêineres por tipo de navegação em 2018
 Fonte: Adaptado de ANTAQ, 2019.

Na Figura 11 é possível observar que a navegação por cabotagem foi responsável por 62,7% do total de contêineres movimentados no terminal.

4.1.3 Terminal de Múltiplo Uso 1 (Porto de Vila Do Conde)

O Terminal de Múltiplo Uso 1 é um terminal do Porto de Vila do Conde, localizado em Barcarena, município do estado do Pará.

De acordo com o Plano Mestre do Complexo Portuário de Belém e Vila do Conde (2017), a movimentação de contêineres é realizada no berço 401 do terminal de Múltiplo Uso do Porto de Vila do Conde, que possui 254 metros de comprimento e uma profundidade que varia de 18 a 20 metros.

No terminal é permitido o acesso de embarcações com calado máximo de 13 metros. O terminal possui ainda, uma área para armazenamento de contêineres de 102.500 metros quadrados.

No ano de 2018, com 1.402.628 toneladas, o terminal foi o terceiro maior em movimentação de contêineres da região norte.

A principal forma de movimentação de contêineres no terminal ocorre através da navegação de cabotagem.

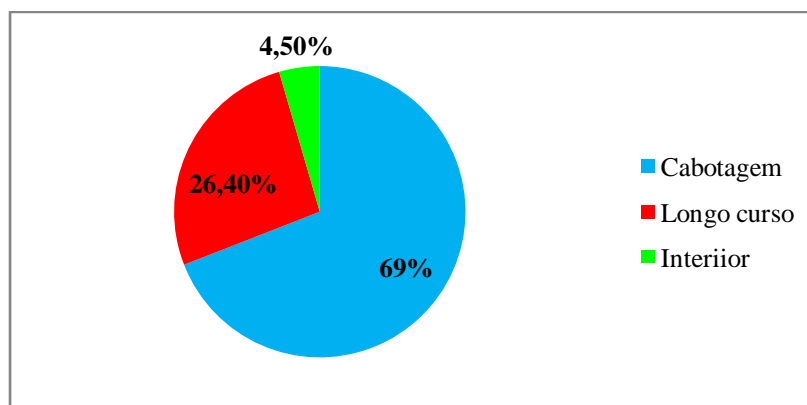


Figura 12: Movimentação de contêineres por tipo de navegação em 2018
 Fonte: Adaptado de ANTAQ, 2019.

Sendo a cabotagem responsável por 69% do total de contêineres movimentados em 2018 no terminal, como mostra a Figura 12.

4.1.4 Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio (Chibatão Navegação e Comércio)

Localizado na cidade de Manaus, o Terminal privado Chibatão Navegação e Comércio que teve o início de sua operação no ano de 2003 e tem como principal tipo de carga movimentada os contêineres.

Em 2018, o terminal alcançou o 4º lugar no ranking de movimentação de contêineres na região norte com uma movimentação igual a 136.803 toneladas de contêineres. Com apenas um berço de atracação, a movimentação de contêineres na TUP Chibatão Navegação e Comércio é realizada inteiramente através da navegação interior.

4.1.5 Terminal de Uso Privativo Passarão (Passarão)

O terminal privativo Passarão está situado no estado de Rondônia e compõe o Complexo Portuário de Porto Velho. Teve suas atividades iniciadas em 2003 e atualmente os principais tipos de produtos movimentados nesse TUP, de acordo com o Plano Mestre do Porto de Porto Velho (2014), são: contêineres, cereais, materiais de construção e gêneros de primeira necessidade, como: arroz, feijão, açúcar, milho, óleos comestíveis.

No ano de 2018 o TUP Passarão apresentou uma movimentação significativa de carga conteneirizada, com 132.961 toneladas de contêineres movimentados foi o quinto

terminal que mais movimentou contêineres na região norte nesse período. Sendo a navegação interior responsável por 100% da demanda de movimentação de contêineres desse terminal privado.

O Terminal apresenta um cais do tipo flutuante com 38 metros de extensão, com um berço de atracação no qual recebe embarcações do tipo balsa com as seguintes características: 88 metros de comprimento, 18,50 metros de boca e 2,50 metros de calado

No que se refere à área de armazenagem o terminal dispõe de 11.000 metros quadrados para armazenar cargas gerais e contêineres.

4.2 TERMINAIS LOCALIZADOS EM OUTRAS REGIÕES DO BRASIL

4.2.1 Tecon Santos Brasil (Porto de Santos)

O Terminal Santos Brasil (Tecon Santos) é um dos principais terminais do país em relação à movimentação de contêineres, esta localizada na margem esquerda do Porto de Santos. Esse terminal é especializado na movimentação de carga solta e contêiner. No ano de 2018, segundo dados divulgados pela ANTAQ (2019), foi o terminal que mais movimentou contêineres no Brasil, totalizando 16.135.674,68 toneladas.

O Tecon Santos possui uma área total de 596.000 metros quadrados, com um cais de 980 metros de comprimento e uma área de 12.000 metros quadrados de armazéns. O terminal permite o tráfego de navios de elevado calado, como os Post-Panamax. Dessa forma, navios com calado de até 13,5 metros podem atracar nesse terminal.

4.2.2 Libra Terminais (Porto de Santos)

Localizado dentro do Porto de Santos, o terminal Libra Terminais dispõe de uma infraestrutura com 155.000 metros quadrados de área total, um cais com 1.395 metros. É um terminal de grande relevância para o país em termos de movimentação de contêineres, movimentou 4.966.772,28 de toneladas em 2018, sendo o segundo maior em movimentação de carga conteneirizada nesse ano (ANTAQ, 2019).

A movimentação de contêineres é realizada através 10 portêineres, sendo 6 post-panamax, 17 RGT's e 14 reach stacker.

4.2.3 Paranaguá TCP (Porto de Paranaguá)

Localizado no Porto de Paranaguá é um terminal arrendado e um dos principais terminais de contêineres dos pais. O Paranaguá TCP registrou em 2018, de acordo com a ANTAQ (2019), uma movimentação de contêineres de 8.697.943,52 de toneladas, o que o torna o 3º terminal que mais movimentou carga conteneirizada no país nesse período.

Implantado em uma baía protegida, o terminal apresenta um cais com extensão total de 879 metros, com 3 berços de atracação. Navios com calado máximo de 12,5 metros podem atracar no terminal. Em relação à área de armazenagem, o terminal possui 320.000 metros quadrados de área de armazenagem.

4.2.4 Terminal de Uso Privativo Portonave (Portonave Terminais Portuários De Navegantes)

O Terminal de Uso Privativo Portonave faz parte do Complexo Portuário de Itajaí, instalado no estado de Santa Catarina, em operação desde o ano de 2007, foi o primeiro terminal portuário privativo do Brasil.

O Terminal possui como características: uma área de 400.000 metros quadrados com um cais linear de 900 metros e 3 berços de atracação para a movimentação de contêineres.

Em 2018 o terminal privado movimentou 7.378.231,66 de toneladas de contêineres, colocando o terminal na 5º posição entre os terminais que mais movimentaram carga conteneirizada no país (ANTAQ, 2019).

4.2.5 Tecon Rio Grande (Porto Rio Grande)

O Tecon Rio grande é um terminal de contêineres arrendado do Porto do rio Grande, sendo responsável pela maior parte da carga conteneirizada, cerca de 98%, movimentada no Porto Rio Grande.

O terminal representa um dos principais terminais de contêineres do país, alcançando 8.619.326,13 toneladas de contêineres em 2018 (ANTAQ, 2019). Com relação a sua área total apresenta 735.000 metros quadrados, com um potencial para armazenagem de carga de 18.000 metros quadrados e um cais com 900 metros de acostagem.

4.2.6 Terminal de Uso Privativo Itapoá (Porto Itapoá Terminais Portuários)

O Porto Itapoá é um terminal de uso privado, constitui o Complexo Portuário de São Francisco do Sul, está situado na baía da Babitonga, no estado de Santa Catarina.

O TUP Itapoá é o segundo maior terminal em movimentação de contêineres do estado de Santa Catarina, em 2018, com base nos dados divulgados pela ANTAQ (2019), o terminal alcançou 7.138.566,56 toneladas de contêineres.

O Terminal possui, atualmente, 2 berços com 16 metros de profundidade que permitem que navios Super Post Panamax, com 336 metros de comprimento máximo e 48,3 metros de largura máxima tenham acesso ao terminal.

O Terminal possui ainda um pátio com área de aproximadamente 250.000 metros quadrados, com um potencial de armazenagem de mais de 2.000 metros quadrados para armazenagem seca, além de possuir uma câmara fria para carga refrigerada.

4.2.7 Terminal de Uso Privativo Dp World Santos (Dp World Santos)

Localizado na Ilha Barnabé, na cidade de Santos, o terminal privado DP World Santos compõe os dez maiores terminais em movimentação de contêineres do país, segundo a ANTAQ (2019), com 6.884.517,50 toneladas de carga conteneirizada movimentada, o terminal finalizou o ano de 2018 como o 6º terminal que mais movimentou esse tipo de carga.

O TUP Dp World Santos apresenta um cais com 653 metros composto por 2 berços, sendo a profundidade de cada berço igual a 16 metros, cujas as principais mercadorias movimentadas são contêineres e veículos. No terminal é autorizada a atracação de embarcações que possuem um calado máximo de 13,7 metros.

4.2.8 Tecon Suape (Porto de Suape)

O Tecon Suape está localizado em Pernambuco, concentram a movimentação de contêineres movimentados no Porto de Suape, contém uma área de 400.000 metros quadrados com 3 berços lineares que totalizam 935 metros de comprimento e possuem uma profundidade operacional de 15,5 metros.

Segundo dados da ANTAQ (2019), com uma movimentação de contêineres igual a 4.929.341 toneladas em 2018, o Tecon Suape tem se desenvolvido como o maior terminal em

movimentação de contêineres do nordeste. Além disso, devido a sua localização estratégica, apresenta-se como hub port para as regiões norte e nordeste.

4.2.9 Tecon Salvador (Porto de Salvador)

O terminal de contêineres Tecon Salvador, é um terminal arrendado do Porto de Salvador, implantado na Baía de Todos os Santos. Começou a operar em 2000 e atualmente, de acordo com a ANTAQ (2019), com uma movimentação de 4.247.018 de toneladas em 2018, se destaca como o segundo maior terminal da região nordeste em relação à movimentação de contêineres.

Com relação à infraestrutura o terminal apresenta uma área total de 118.000 metros quadrados, e um berço de 377 metros de comprimento e 15 metros de profundidade, permitindo que grandes embarcações, como New Panamax, possam ter acesso ao terminal.

4.2.10 Multi Rio T2 (Porto do Rio de Janeiro)

Situado no Porto do Rio de Janeiro, o terminal Multi Rio T2 tem uma área total de 251.000 metros quadrados. Apresenta um cais com 533 metros de comprimento.

Em 2018, segundo a ANTAQ (2019), o terminal registrou uma movimentação de contêineres de 2.497.938 toneladas, demonstrando a relevância desse terminal para a movimentação de contêineres do país, sendo o Multi Rio T2 o 10º maior terminal em relação à movimentação de contêineres no ranking nacional.

Com uma área de armazenagem de 20.000 metros quadrados, o terminal possui ainda 2 berços de atracação que totalizam 800 metros com uma profundidade de 14,3 metros (ou 13,5 metros sem utilização da maré).

5. RESULTADOS

A orientação escolhida para a pesquisa foi à orientação a *output*. Kirchner (2013) afirma que a todo o momento, o propósito de um terminal é elevar a movimentação de carga, visto que é através dessa elevação que o terminal obterá lucro. Além disso, determinou-se esta orientação com base na movimentação crescente observada ao longo dos anos nos dados divulgados pela ANTAQ. Outro fator considerado é que um dos principais objetivos de um terminal que movimenta contêineres é melhorar sua eficiência, através da máxima movimentação de contêineres (*output*), considerando a quantidade de *inputs* que possuem.

5.1 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

A análise nos Método Compensatório de Normalização Única (CNU) e o Método Multicritério Combinatório Inicial foi realizada com base na modelagem DEA CCR e DEA BCC com orientação a *output*.

5.1.1 Escolha do modelo DEA para aplicação dos métodos de seleção de variáveis

A primeira etapa de cada método de seleção de variável consistiu no cálculo da eficiência para cada par *input-output*. Foi observado que o modelo DEA CCR mostrou um maior poder discriminatório, ou seja, o número de DMUs na fronteira de eficiência é menor quando comparado ao modelo DEA BCC, como é possível observar na Tabela 4.

DEA CCR					DEA BCC				
INPUT	QATRAC	CONSIG MED	TMOP	PMOP	INPUT	QATRAC	CONSIG MED	TMOP	PMOP
OUTPUT	MOV	MOV	MOV	MOV	OUTPUT	MOV	MOV	MOV	MOV
DMU 1	57%	100%	100%	100%	DMU 1	100%	100%	100%	100%
DMU 2	46%	39%	26%	41%	DMU 2	67%	39%	31%	44%
DMU 3	34%	91%	95%	56%	DMU 3	59%	93%	99%	57%
DMU 4	40%	60%	94%	31%	DMU 4	66%	61%	100%	46%
DMU 5	33%	93%	79%	67%	DMU 5	57%	95%	82%	70%
DMU 6	39%	64%	66%	49%	DMU 6	65%	65%	68%	49%
DMU 7	50%	49%	54%	37%	DMU 7	78%	49%	55%	43%
DMU 8	31%	56%	47%	38%	DMU 8	50%	57%	48%	39%
DMU 9	26%	57%	50%	36%	DMU 9	42%	59%	53%	38%
DMU 10	21%	42%	30%	24%	DMU 10	32%	44%	32%	26%
DMU 11	100%	13%	8%	44%	DMU 11	100%	23%	23%	52%
DMU 12	33%	23%	8%	35%	DMU 12	42%	24%	13%	49%
DMU 13	20%	25%	6%	39%	DMU 13	26%	27%	9%	100%
DMU 14	2%	25%	8%	3%	DMU 14	3%	96%	100%	4%
DMU 15	2%	25%	7%	3%	DMU 15	2%	100%	36%	5%
Número de DMUs eficientes	1	1	1	1	Número de DMUs eficientes	2	2	3	2

Tabela 4: Comparação entre os modelos DEA CCR e DEA BCC

Fonte: Autor

Então, optou-se por utilizar o modelo CCR para a aplicação dos métodos Compensatório de Normalização Única (CNU) e Multicritério Combinatório Inicial.

5.1.2 Variáveis selecionadas com base no Método Compensatório de Normalização Única (CNU)

A seleção de variáveis baseada no método Compensatório de Normalização Única teve quatro etapas. Em cada etapa foi calculado para cada cenário com *inputs* e *output*, primeiramente as eficiências, e posteriormente a eficiência média, a eficiência média normalizada, o poder de discriminação normalizado, o índice S, assim como identificado o número de DMUs na fronteira de eficiência. A primeira etapa foi iniciada com quatro pares *input-output*, a Tabela 5 mostra o resultado da etapa 1.

INPUT OUTPUT	QATRAC MOV	CONSIG MED MOV	TMOP MOV	PMOP MOV
DMU 1	57%	100%	100%	100%
DMU 2	46%	39%	26%	41%
DMU 3	34%	91%	95%	56%
DMU 4	40%	60%	94%	31%
DMU 5	33%	93%	79%	67%
DMU 6	39%	64%	66%	49%
DMU 7	50%	49%	54%	37%
DMU 8	31%	56%	47%	38%
DMU 9	26%	57%	50%	36%
DMU 10	21%	42%	30%	24%
DMU 11	100%	13%	8%	44%
DMU 12	33%	23%	8%	35%
DMU 13	20%	25%	6%	39%
DMU 14	2%	25%	8%	3%
DMU 15	2%	25%	7%	3%
EFICIÊNCIA MÉDIA	0,356	0,509	0,451	0,402
SEF(eficiência média normalizada)	3,558	5,089	4,514	4,019
Nº DE DMUs EFICIENTES	1,0	1,0	1,0	1,0
SDIS (poder de discriminação normalizado)	10,000	10,000	10,000	10,000
S	13,558	15,089	14,514	14,019

Tabela 5: Etapa 1 do método CNU, modelo DEA CCR

Fonte: Autor

A partir da Tabela 5, pode-se visualizar o par selecionado por apresentar o maior índice S, igual a 15,089. Então, para a próxima etapa as variáveis selecionadas são: CONSIG MED e MOV.

Na etapa 2 foi incluído mais um *input*, nessa etapa foram analisados três cenários como mostra a Tabela 6.

INPUT INPUT OUTPUT	CONSIG MED QATRAC MOV	CONSIG MED TMOP MOV	CONSIG MED PMOP MOV
DMU 1	100%	100%	100%
DMU 2	75%	39%	41%
DMU 3	91%	95%	91%
DMU 4	69%	94%	60%
DMU 5	93%	93%	93%
DMU 6	68%	66%	64%
DMU 7	84%	54%	49%
DMU 8	56%	56%	56%
DMU 9	57%	57%	57%
DMU 10	42%	42%	42%
DMU 11	100%	13%	44%
DMU 12	53%	23%	35%
DMU 13	33%	25%	39%
DMU 14	25%	25%	25%
DMU 15	25%	25%	25%
EFICIÊNCIA MÉDIA	0,648	0,539	0,549
SEF(eficiência média normalizada)	6,480	5,389	5,486
Nº DE DMUs EFICIENTES	2,0	1,0	1,0
SDIS (poder de discriminação normalizado)	9,286	10,000	10,000
S	15,766	15,389	15,486

Tabela 6: Etapa 2 do método CNU, modelo DEA
Fonte: Autor

As variáveis que compõem o cenário que obteve maior índice S são: CONSIG MED, QATRAC e MOV, com S igual a 15,766.

Esse cenário terá mais um *input* adicionado na etapa 3, como pode ser visualizado na Tabela 7.

INPUT	CONSIGMED	CONSIGMED
INPUT	QATRAC	QATRAC
INPUT	TMOP	PMOP
OUTPUT	MOV	MOV
DMU 1	100%	100%
DMU 2	75%	75%
DMU 3	95%	91%
DMU 4	94%	69%
DMU 5	93%	93%
DMU 6	69%	68%
DMU 7	86%	84%
DMU 8	56%	56%
DMU 9	57%	57%
DMU 10	42%	42%
DMU 11	100%	100%
DMU 12	53%	53%
DMU 13	33%	39%
DMU 14	25%	25%
DMU 15	25%	25%
EFICIÊNCIA MÉDIA	0,669	0,652
SEF(eficiência média normalizada)	6,687	6,520
Nº DE DMUs EFICIENTES	2,0	2,0
SDIS (poder de discriminação normalizado)	9,286	9,286
S	15,973	15,806

Tabela 7: Etapa 3 do método CNU, modelo DEA CCR
Fonte: Autor

Na etapa 3, o cenário com as variáveis CONSIG MED, QATRAC, TMOP e MOV atingiram o maior índice S dessa etapa, com valor igual a 15,973.

O método CNU deve ser finalizado quando todas as variáveis tiverem sido testadas, logo para a etapa final será testado o cenário com os quatro *inputs* pré-selecionados. A Tabela 8 demonstra o resultado da etapa 4.

INPUT	CONSIGMED
INPUT	QATRAC
INPUT	TMOP
INPUT	PMOP
OUTPUT	MOV
DMU 1	100%
DMU 2	75%
DMU 3	95%
DMU 4	94%
DMU 5	93%
DMU 6	69%
DMU 7	86%
DMU 8	56%
DMU 9	57%
DMU 10	42%
DMU 11	100%
DMU 12	53%
DMU 13	39%
DMU 14	25%
DMU 15	25%
EFICIÊNCIA MÉDIA	0,673
SEF(eficiência média normalizada)	6,727
Nº DE DMUs EFICIENTES	2,0
SDIS (poder de discriminação normalizado)	9,286
S	16,012

Tabela 8: Etapa 4 do método CNU, modelo DEA CCR
Fonte: Autor

Após a adição de todas as variáveis, foi escolhido o cenário que apresentou o maior índice S entre todos os cenários testados, como pode ser visualizado na Tabela 9.

Etapa	S	Variáveis
1	15,089	CONSIG MED e MOV
2	15,766	CONSIG MED, QATRAC e MOV
3	15,973	CONSIG MED, QATRAC, TMOP e MOV
4	16,012	CONSIG MED, QATRAC, TMOP, PMOP e MOV

Tabela 9: Cenários gerados no método CNU, metodologia DEA CCR
Fonte: Autor

Então, os *inputs* selecionados através do Método CNU são: CONSIG MED, QATRAC, TMOP, PMOP.

5.1.3 Variáveis selecionadas com base no Método Multicritério Combinatório Inicial

A aplicação do Método Multicritério Combinatório Inicial para a seleção das variáveis foi realizada em três etapas. Semelhante ao método CNU, foi mensurado a eficiência, assim como a eficiência média, a eficiência média normalizada, o poder de discriminação normalizado, o índice S e quantificado o número de DMUs eficientes para cada cenário de variáveis. Sendo que no Método Multicritério Combinatório Inicial as normalizações são realizadas de forma distinta. Além disso, para o índice S foi realizada a soma ponderada das variáveis S_{EF} e S_{DIS} , onde $S = \omega \cdot S_{EF} + (1 - \omega) \cdot S_{DIS}$. Para ambas as variáveis, S_{EF} e S_{DIS} , foi considerado o mesmo peso ($\omega = 0,5$), como recomenda o método, com o intuito de exigir menos informação do decisor e assim reduzir a subjetividade. O resultado da Etapa 1 é mostrado na Tabela 10.

INPUT	QATRAC	CONSIG MED	TMOP	PMOP
OUTPUT	MOV	MOV	MOV	MOV
DMU 1	57%	100%	100%	100%
DMU 2	46%	39%	26%	41%
DMU 3	34%	91%	95%	56%
DMU 4	40%	60%	94%	31%
DMU 5	33%	93%	79%	67%
DMU 6	39%	64%	66%	49%
DMU 7	50%	49%	54%	37%
DMU 8	31%	56%	47%	38%
DMU 9	26%	57%	50%	36%
DMU 10	21%	42%	30%	24%
DMU 11	100%	13%	8%	44%
DMU 12	33%	23%	8%	35%
DMU 13	20%	25%	6%	39%
DMU 14	2%	25%	8%	3%
DMU 15	2%	25%	7%	3%
EFICIÊNCIA MÉDIA	0,356	0,509	0,451	0,402
SEF(eficiência média normalizada)	0,000	1,000	0,621	0,301
Nº DE DMUs EFICIENTES	1	1	1	1
SDIS (poder de discriminação normalizado)	1,00	1,00	1,00	1,00
S	0,500	1,000	0,811	0,651

Tabela 10: Etapa 1 do método Multicritério Combinatório Inicial, modelo DEA CCR
Fonte: Autor

O maior índice S foi alcançado pelo par CONSIG MED e MOV, com valor igual a 1. Ao final de cada etapa deve ser verificado se o número de DMUs não excedeu o quádruplo do número de variáveis, sendo este o critério de parada do método. Na primeira etapa como o número de variáveis é apenas dois e estão sendo analisadas 15 DMUs, esse critério ainda não foi atendido, então o método prossegue para a etapa seguinte.

Na etapa 2 é adicionada uma variável *input* ao par CONSIG MED e MOV. A Tabela 11 mostra os resultados dessa etapa.

INPUT INPUT OUTPUT	CONSIG MED QATRAC MOV	CONSIG MED TMOP MOV	CONSIG MED PMOP MOV
DMU 1	100%	100%	100%
DMU 2	75%	39%	41%
DMU 3	91%	95%	91%
DMU 4	69%	94%	60%
DMU 5	93%	93%	93%
DMU 6	68%	66%	64%
DMU 7	84%	54%	49%
DMU 8	56%	56%	56%
DMU 9	57%	57%	57%
DMU 10	42%	42%	42%
DMU 11	100%	13%	44%
DMU 12	53%	23%	35%
DMU 13	33%	25%	39%
DMU 14	25%	25%	25%
DMU 15	25%	25%	25%
EFICIÊNCIA MÉDIA	0,648	0,539	0,549
SEF(eficiência média normalizada)	1,000	0,000	0,092
Nº DE DMUs EFICIENTES	2	1	1
SDIS (poder de discriminação normalizado)	0,00	1,00	1,00
S	0,500	0,500	0,546

Tabela 11: Etapa 2 do método Multicritério Combinatório Inicial, modelo DEA CCR
Fonte: Autor

O cenário que atingiu o maior índice S na etapa 2, com valor igual a 0,546, é composto das variáveis CONSIG MED, PMOP e MOV.

Como o critério de parada do método ainda não foi atendido, prossegue-se para a etapa 3, na qual é adicionado mais um *input*, como pode ser observado na Tabela 12.

INPUT	CONSIG MED	CONSIG MED
INPUT	PMOP	PMOP
INPUT	QATRAC	TMOP
OUTPUT	MOV	MOV
DMU 1	100%	100%
DMU 2	75%	41%
DMU 3	91%	95%
DMU 4	69%	94%
DMU 5	93%	93%
DMU 6	68%	66%
DMU 7	84%	54%
DMU 8	56%	56%
DMU 9	57%	57%
DMU 10	42%	42%
DMU 11	100%	44%
DMU 12	53%	35%
DMU 13	39%	39%
DMU 14	25%	25%
DMU 15	25%	25%
EFICIÊNCIA MÉDIA	0,652	0,578
SEF(eficiência média normalizada)	1,000	0,000
Nº DE DMUs EFICIENTES	2	1
SDIS (poder de discriminação normalizado)	0,00	1,00
S	0,500	0,500

Tabela 12: Etapa 3 do método Multicritério Combinatório Inicial, modelo DEA CCR
Fonte: Autor

O resultado da etapa 3 apresenta o mesmo valor do índice S nos dois cenários analisados. Dessa forma, como critério de desempate deve ser levado em consideração o maior valor da variável S_{DIS} .

Essa etapa possui quatro variáveis, o quádruplo do número dessas variáveis é igual a 20, sendo este valor maior que o número de DMUs analisadas, então o critério para o término do método é atendido.

Portanto, o resultado do método Multicritério Combinatório Inicial apresenta as seguintes variáveis: CONSIG MED, PMOP, TMOP e MOV.

5.1.4 Definição das variáveis

Os cenários de *input-output* analisados nos métodos de seleção de variáveis geraram como resultado o conjunto de variáveis que pode ser observado na Tabela 13, assim como a eficiência média de cada cenário.

MÉTODO	CNU	MULTICRITÉRIO COMBINATÓRIO INICIAL
VARIÁVEIS	CONSIG MED QATRAC TMOP PMOP MOV	CONSIG MED PMOP TMOP MOV
EFICIÊNCIA MÉDIA	67,27%	57,83%

Tabela 13: Resultado dos métodos de seleção de variáveis
Fonte: Autor

As primeiras variáveis selecionadas são: CONSIG MED, TMOP e PMOP, tais variáveis aparecem em ambos os métodos, portanto em virtude disso, foram definidas para análise.

A partir da modelagem numérica é possível concluir que a variável QATRAC ao ser adicionada provocou um elevado aumento na eficiência média, cerca de 9,44% de aumento ao comparar os dois métodos.

Porém, para a seleção definitiva das variáveis, a correlação entre os *inputs* e *outputs* também foi considerada. Baseado na correlação foi possível analisar a força entre as variáveis, a matriz de correlações com os coeficientes é mostrada na Tabela 14.

	QATRAC	CONSIG MED	TMOP	PMOP	MOV
QATRAC	1,000				
CONSIG MED	0,080	1,000			
TMOP	-0,383	0,756	1,000		
PMOP	0,675	0,380	-0,234	1,000	
MOV	0,869	0,461	-0,028	0,718	1,000

Tabela 14: Matriz de correlação entre os inputs e output analisados
Fonte: Autor

Os coeficientes podem apresentar um intervalo de variação entre -1 e 1, quanto mais próximo desses extremos mais forte será a relação entre as variáveis. A quantidade de atracções apresentou o maior coeficiente, seguida da prancha média operacional, consignação média e tempo médio de operação, respectivamente, como mostra a Figura 13.

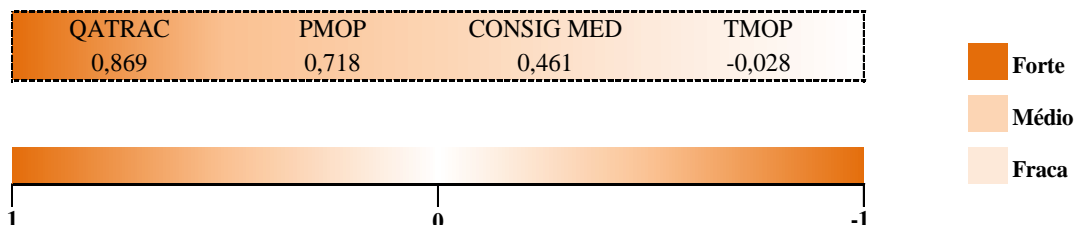


Figura 13: Escala de valores da correlação entre as variáveis input e output
Fonte: Autor

O tempo médio de operação mostrou um coeficiente de correlação negativo, logo possui uma relação inversa, quanto maior o tempo médio de operação menor será a movimentação de contêineres no terminal.

Desse modo, através do resultado da correlação entre as variáveis, nota-se que a quantidade de atracções tem uma forte relação com o *output* utilizado na análise, além de elevar consideravelmente a eficiência média ao ser considerada no método CNU, em consequência disso, cogitou-se adicionar essa variável na pesquisa. Porém, observou-se que ao adicionar a quantidade de atracções, essa variável estava produzindo DMUs “falsas eficientes”, isto é, unidades que apresentam eficiência padrão e eficiência invertida iguais a 100%, sendo que a eficiência invertida identifica as DMUs mais ineficientes.

O resultado com DMU falsa eficiente foi observado na terceira etapa do método Multicritério. A DMU 11 (Terminal de Uso Privativo de Chibatão) apresentou eficiência padrão e eficiência invertida máxima ao considerar a variável quantidade de atracções, como mostra a Tabela 15. A DMU que atinge uma eficiência padrão igual a 100%, deve apresentar uma baixa eficiência invertida. Uma vez que, segundo Giacomello e Oliveira (2014), a fronteira invertida é formada pelas DMUs que possuem as piores práticas gerenciais, e pode ser denominada como fronteira ineficiente.

INPUT	CONSIG MED	CONSIGMED
INPUT	PMOP	PMOP
INPUT	QATRAC	TMOP
OUTPUT	MOV	MOV
DMU 11		
Eficiência padrão	100%	44%
Eficiência invertida	100%	100%

Tabela 15: Resultado eficiência padrão e eficiência invertida DMU 11

Fonte: Autor

Dessa forma, a quantidade de atracação foi retirada da modelagem. Foram definidos, portanto, como *inputs*, a consignação média, o tempo médio de operação e a prancha média operacional, e o *output*, como determinado anteriormente, a movimentação de contêineres.

5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES

A seguir serão analisados os resultados obtidos a partir de indicadores operacionais empregando o método Análise Envoltória de Dados (DEA), sendo o ponto central da análise os terminais de contêineres localizados na região norte do Brasil.

5.2.1 Análise dos modelos DEA CCR e BCC no cálculo da Eficiência dos terminais de contêineres

A princípio, foram avaliadas as eficiências através dos dois modelos básicos do DEA, os modelos DEA CCR e DEA BCC, ambos orientados a *output*, como foi explicado anteriormente no Capítulo 3 e sem restrição de pesos.

A Tabela 16 mostra o resultado das eficiências estimadas para os terminais analisados, sendo possível observar a eficiência padrão e a eficiência invertida. Para ser considerado eficiente um terminal precisa alcançar um índice de eficiência igual a 100%.

DMU	Estado	Porto/ Terminal	DEA CCR		DEA BCC	
			Padrão	Invertida	Padrão	Invertida
DMU 1	São Paulo	Porto de Santos - Tecon Santos Brasil	100%	14%	100%	32%
DMU 2	São Paulo	Porto de Santos - Libra Terminais	41%	37%	44%	73%
DMU 3	Paraná	Porto Paranaguá - Paranaguá TCP	95%	16%	100%	51%
DMU 4	Santa Catarina	Terminal de Uso Privativo Portonave	94%	26%	100%	100%
DMU 5	Rio Grande do Sul	Porto Rio Grande - Tecon Rio Grande	93%	16%	95%	40%
DMU 6	Santa Catarina	Porto Itapoá Terminais Portuários - Terminal de Uso Privativo Itapoá	66%	23%	69%	60%
DMU 7	São Paulo	Terminal de Uso Privativo Dp World Santos	54%	30%	55%	86%
DMU 8	Pernambuco	Porto de Suape - Tecon Suape	56%	26%	57%	72%
DMU 9	Bahia	Porto de Salvador - Tecon Salvador	57%	26%	59%	71%
DMU 10	Rio de Janeiro	Porto do Rio De Janeiro - Multi Rio T2	42%	36%	44%	98%
DMU 11	Amazonas	Terminal de Uso Privativo de Chibatão	44%	100%	52%	100%
DMU 12	Amazonas	Terminal de Uso Privativo Super Terminais	35%	82%	49%	94%
DMU 13	Pará	Porto de Vila Do Conde - Terminal de Multiplo Uso 1	39%	100%	100%	100%
DMU 14	Amazonas	Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio	25%	100%	100%	100%
DMU 15	Rondônia	Terminal de Uso Privativo Passarão	25%	100%	100%	100%

Tabela 16: Resultado eficiência padrão e eficiência invertida nos modelos DEA CCR e BCC
Fonte: Autor

Analisando o resultado das eficiências padrão e invertida dos dois modelos DEA, mostrado na Tabela 16, foi observado que o modelo DEA BCC possui DMUs falsas eficientes, já que apresentam a eficiência padrão igual a 100%, assim como eficiência invertida com o mesmo valor. As DMUs com eficiência padrão máxima (100%) devem ter baixa eficiência invertida, pois uma elevada eficiência invertida sinaliza uma DMU ineficiente.

Além disso, o modelo DEA BCC, também possui um número maior de DMUs na fronteira de eficiência quando comparado com o modelo DEA CCR, são três DMUs eficientes no modelo BCC e apenas uma DMU eficiente no modelo CCR. Dessa forma, é possível afirmar que o modelo DEA CCR apresentou um maior poder discriminatório.

Portanto, decidiu-se por utilizar o modelo DEA CCR na análise das eficiências, metas e benchmarks dos terminais de contêineres devido ao baixo poder discriminatório e as DMUs falsas eficientes presentes no resultado do modelo DEA BCC. Ainda assim, o modelo BCC foi utilizado na análise da eficiência de escala e retorno de escala para cada terminal, visto que são variáveis obtidas a partir desse modelo, no caso do retorno de escala ou juntamente com o modelo CCR, no caso da eficiência de escala.

5.2.2 Eficiência dos terminais de contêineres

Os índices de eficiência e a movimentação de contêineres em toneladas para os 15 terminais de contêineres analisados no ano de 2018 são mostradas no Gráfico 1.

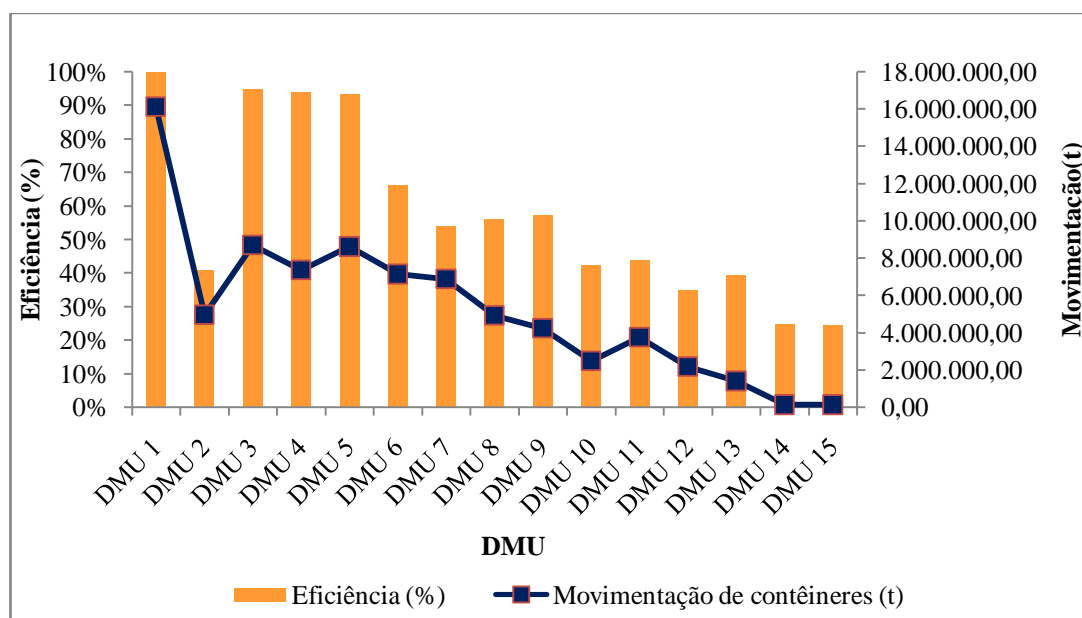


Gráfico 1: Eficiência DEA CCR e movimentação em toneladas das DMUs analisadas
Fonte: Autor

Com base nos resultados, é possível observar no Gráfico 1, que o Terminal de Uso Privativo de Chibatão (DMU 11), apesar de ser ineficiente, apresentou o melhor desempenho em relação aos terminais da região norte, alcançando uma eficiência igual a 44%, sendo este terminal o que obteve também maior movimentação entre os terminais localizados no norte do Brasil em 2018, movimentando cerca de 3.764.453,56 de toneladas de contêineres.

No geral, apenas o Tecon Santos (DMU 1) obteve eficiência máxima igual a 100%, portanto foi avaliado como eficiente. Como mostra o Gráfico 1, o Tecon Santos é o maior

movimentador de contêineres do país no período analisado, apresentou uma movimentação igual a 16.135.675 toneladas de contêineres.

O TUP Super Terminais (DMU 12) com uma eficiência igual a 35% apresentou um baixo desempenho. Em 2018 movimentou 2.167.412 toneladas, sendo o segundo maior terminal em movimentação de contêineres da região norte.

Apesar do baixo desempenho, o Terminal de Múltiplo Uso 1 (DMU 13), localizado no Porto de Vila do Conde, foi o terminal que obteve o segundo melhor desempenho entre os terminais da região norte com uma eficiência igual a 39%. Entre os terminais do norte do país foi o terceiro maior em movimentação de contêineres em 2018, movimentando 1.409.915 toneladas de carga conteneirizada nesse ano.

Os terminais que tiveram os piores desempenhos foram o Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio (DMU 14) e o Terminal de Uso Privativo Passarão (DMU 15), ambos localizados na região norte, alcançaram uma eficiência igual a 25%. Apresentaram também as menores movimentações em 2018, 136.803,68 e 132.961,18 toneladas, respectivamente.

Apesar da maioria dos terminais que obtiveram um melhor desempenho igualmente possuírem elevada movimentação de contêiner, não foi um comportamento seguido por todos os terminais analisados. Por exemplo, o Terminal Multi Rio T2 (DMU 10) e Terminal de Uso Privativo de Chibatão (DMU 11), possuem movimentações menores 2.497.938 e 3.764.453 de toneladas de contêineres, nessa ordem, quando comparados ao Libra Terminais (DMU 2) que apresentou uma movimentação de contêineres igual a 4.966.772,28 toneladas, porém os terminais Multi Rio T2 e Terminal de Uso Privativo de Chibatão são mais eficientes quando comparados ao terminal Libra Terminais, com eficiências iguais a 42%, 44% e 41%, respectivamente.

5.2.3 Eficiência de escala e retorno à escala

A Tabela 17 apresenta o resultado da eficiência de escala obtida a partir da relação entre o índice de eficiência total (Modelo CCR) pelo índice de eficiência técnica (Modelo BCC). São também apresentados na Tabela 17 o coeficiente α obtido segundo o modelo BCC, assim como o tipo de retorno de escala baseado na análise do coeficiente α para cada DMU.

DMU	Estado	Porto/ Terminal	DEA CCR	DEA BCC	Eficiência de escala	Coefficiente ϖ	Tipo de retorno a escala
DMU 1	São Paulo	Porto de Santos - Tecon Santos Brasil	100%	100%	100%	0	Constante
DMU 2	São Paulo	Porto de Santos - Libra Terminais	41%	44%	94%	-1,2204532	Crescente
DMU 3	Paraná	Porto Paranaguá - Paranaguá TCP	95%	100%	95%	-0,21295418	Crescente
DMU 4	Santa Catarina	Terminal de Uso Privativo Portonave	94%	100%	94%	-0,23670073	Crescente
DMU 5	Rio Grande do Sul	Porto Rio Grande - Tecon Rio Grande	93%	95%	98%	-0,04872904	Crescente
DMU 6	Santa Catarina	Porto Itapoá Terminais Portuários - Terminal de Uso Privativo Itapoá	66%	69%	96%	-0,27821989	Crescente
DMU 7	São Paulo	Terminal de Uso Privativo Dp World Santos	54%	55%	98%	-0,1586182	Crescente
DMU 8	Pernambuco	Porto de Suape - Tecon Suape	56%	57%	98%	-0,08520643	Crescente
DMU 9	Bahia	Porto de Salvador - Tecon Salvador	57%	59%	97%	-0,09889563	Crescente
DMU 10	Rio de Janeiro	Porto do Rio De Janeiro - Multi Rio T2	42%	44%	95%	-0,16814329	Crescente
DMU 11	Amazonas	Terminal de Uso Privativo de Chibatão	44%	52%	85%	-0,73506071	Crescente
DMU 12	Amazonas	Terminal de Uso Privativo Super Terminais	35%	49%	72%	-1,2766848	Crescente
DMU 13	Pará	Porto de Vila Do Conde - Terminal de Múltiplo Uso 1	39%	100%	39%	-4,321682	Crescente
DMU 14	Amazonas	Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio	25%	100%	25%	-13,513885	Crescente
DMU 15	Rondônia	Terminal de Uso Privativo Passarão	25%	100%	25%	-3,1589033	Crescente

Tabela 17: Resultado da eficiência nos modelos DEA CCR, DEA BCC e eficiência de escala
Fonte: Autor

Apenas um terminal apresentou eficiência máxima no quesito eficiência de escala, sendo este o Tecon Santos Brasil. Somente esse terminal apresentou um retorno à escala constante (coeficiente $\varpi = 0$), neste caso um aumento de entradas produz um aumento proporcional na produção total. Este terminal está operando na sua capacidade ótima e deve permanecer assim para se manter na fronteira de eficiência.

Mariano (2008) classifica como muito baixas eficiências de escala (MBEE), as eficiências inferiores a 90%.

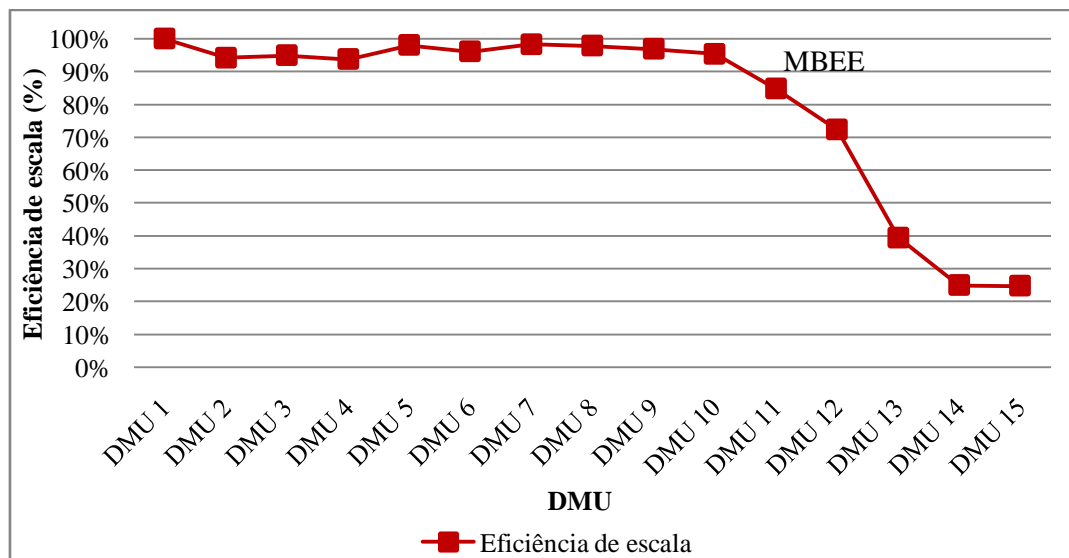


Gráfico 2: Eficiência de escala das DMUs analisadas
 Fonte: Autor

Então das 15 DMUs analisadas, é possível observar no Gráfico 2 que os terminais da região norte são os que possuem muito baixas eficiências de escala, logo esses terminais não estão operando em escala apropriada. Isso é comprovado pelo retorno à escala crescente (coeficiente $\alpha < 0$), nesse caso a variação dos *inputs* é maior que a variação do *output*. Dessa forma, pode-se concluir que esses terminais estão funcionando abaixo de suas escalas ótimas, sendo que poderiam alcançar a fronteira de eficiência aumentando suas escalas de operações. A elevação na escala de operação pode ser realizada implantando equipamentos com maior capacidade de carga ou aumentando a quantidade de equipamentos de movimentação de contêiner, visto que os equipamentos de movimentação de carga exercem grande influência na capacidade operacional de um terminal.

5.2.4 Benchmarks e metas

O Tecon Santos Brasil é o benchmark para os terminais ineficientes, ou seja, contém as melhores práticas operacionais e será referência para as unidades ineficientes melhorarem seus desempenhos e se tornarem unidades eficientes.

Com base na comparação com o Benchmark foram obtidas as metas de *inputs* e *outputs* em longo prazo que devem ser alcançados pelos terminais ineficientes para que se tornem unidades de eficiência máxima.

Na orientação a *output* os terminais devem manter os *inputs* constantes (consignação média, tempo médio de operação e prancha média operacional) elevando o valor do *output* (movimentação de contêineres em toneladas) para que se tornem eficientes.

A Tabela 18 mostra as quantidades atuais, desejadas e as variações da movimentação de contêiner nos terminais ineficientes da região norte.

DMU	Porto/Terminal	Atual (toneladas)	Desejada (toneladas)	Variação (%)
DMU 11	Terminal de Uso Privativo de Chibatão	3.764.453,56	8.542.416,01	127%
DMU 12	Terminal de Uso Privativo Super Terminais	2.167.411,96	6.169.522,67	185%
DMU 13	Porto de Vila Do Conde - Terminal de Múltiplo Uso 1	1.402.628,23	3.559.340,00	154%
DMU 14	Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio	136.803,68	548.568,00	301%
DMU 15	Terminal de Uso Privativo Passarão	132.961,19	538.944,00	305%

Tabela 18: Quantidades atuais, desejadas e as variações da movimentação de contêiner
Fonte: Autor

O TUP Chibatão apesar de ser destaque na movimentação de contêineres entre os terminais da região norte analisados, ainda não movimenta quantidade suficiente que o torne eficiente. Apesar da vantagem de possuir um calado que permite a atracação de navios de grande porte, além estar localizado próximo ao distrito industrial de Manaus (CABRAL, 2014). Esse terminal precisa ampliar seu potencial de movimentação, tendo que elevar a quantidade de contêineres movimentada de 3.764.453,56 para 8.542.416,01, ou seja, uma elevação na movimentação de pelo menos 127% para obter uma máxima eficiência operacional.

O TUP Super Terminais é um dos principais terminais do Complexo Portuário de Manaus. No período analisado foi o segundo maior em relação à movimentação de contêineres na região norte. Porém, para ser 100% eficiente mantendo os indicadores operacionais (consignação média, tempo médio de operação e prancha média) que possui

atualmente, a sua movimentação precisa aumentar em 185%, isto é, deve alcançar uma movimentação de contêineres de 6.169.522,67 de toneladas.

Atualmente, ambos os TUPs Chibatão e Super Terminais estão em processo de expansão de suas instalações, que pode favorecer o aumento da demanda de movimentação de contêineres e assim promover um melhor desempenho operacional nesses terminais.

O Terminal de Múltiplo Uso 1 localizado no Porto de Vila do Conde deve aumentar sua movimentação de contêiner atual em 154%, visto que, sua movimentação ideal é de 3.559.340 para que se torne um terminal eficiente. Nesse caso, uma das alternativas para elevar a movimentação nesse terminal é melhorar a infraestrutura, como por exemplo, realização de obras de dragagem do canal de acesso do porto, sendo este um dos principais problemas enfrentados no Porto de Vila do Conde que impede o acesso de navios com maiores calados.

Já os TUPs Chibatão Navegação e Comércio e Passarão são os terminais que apresentaram os piores desempenhos tendo que aumentar a movimentação de contêineres em pelo menos 301% e 305%, respectivamente, para que se tornem eficientes. Esses terminais apresentam carência nas suas infraestruturas, com poucos berços de atracação e poucos equipamentos para a movimentação de contêineres o que impede uma maior movimentação de contêineres e conseqüentemente melhores índices de eficiência.

Como o propósito da pesquisa é a maximização da movimentação de contêineres nos terminais, não é interessante que ocorra redução nos *inputs* consignação média e prancha média, visto que, o primeiro indicador está relacionado a características do tamanho dos navios que utilizam o terminal e o segundo a produtividade média do terminal. Então, optou-se por analisar a orientação a *input* apenas para obter as metas para a variável tempo médio de operação, nesse caso mantendo constante o *output* (movimentação de contêineres em toneladas).

Os valores das metas de tempo médio de operação que os terminais devem alcançar para se tornarem unidades eficientes são mostrados na Tabela 19.

DMU	Porto/Terminal	Atual (horas)	Desejada (horas)
DMU 11	Terminal de Uso Privativo de Chibatão	48,7	9
DMU 12	Terminal de Uso Privativo Super Terminais	28,5	6
DMU 13	Porto de Vila Do Conde - Terminal de Múltiplo Uso 1	25,6	4
DMU 14	Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio	1,7	1
DMU 15	Terminal de Uso Privativo Passarão	1,9	1

Tabela 19: Quantidades atuais e desejadas de tempo médio de operação
Fonte: Autor

Os TUPs Chibatão e Super Terminais e o Terminal de Múltiplo Uso 1, apesar de serem mais eficientes quando comparados com os TUPs Chibatão Navegação e Comércio e Passarão, apresentam elevados tempos de operação, necessitando atingir tempos médios de operação iguais a 9, 6 e 4 horas, respectivamente. Elevados tempos médios de operação indicam a existência de baixas produtividades nas operações de carga e descarga, o que reflete negativamente no desempenho operacional, impedindo assim a ampliação da capacidade de movimentação de carga nesses terminais.

5.3 CÁLCULO DA EFICIÊNCIA CONSIDERANDO A PRANCHA MÉDIA OPERACIONAL E A MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES COMO *OUTPUTS*

Devido ao baixo desempenho apresentado pelos terminais de contêineres da região norte na análise anterior, julgou-se necessário realizar a análise da eficiência operacional considerando como *outputs* além da movimentação de contêineres, a prancha média operacional. Neste caso, foram mantidos os *inputs* tempo médio de operação e consignação média. Neste contexto, a eficiência foi calculada com base no modelo DEA CCR com orientação a *output*.

A Tabela 20 mostra o resultado das eficiências dos terminais de contêineres considerando como *outputs* os indicadores movimentação de contêineres e a prancha média operacional.

DMU	Estado	Porto/ Terminal	DEA CCR
DMU 1	São Paulo	Porto de Santos - Tecon Santos Brasil	100%
DMU 2	São Paulo	Porto de Santos - Libra Terminais	43%
DMU 3	Paraná	Porto Paranaguá - Paranaguá TCP	100%
DMU 4	Santa Catarina	Terminal de Uso Privativo Portonave	100%
DMU 5	Rio Grande do Sul	Porto Rio Grande - Tecon Rio Grande	97%
DMU 6	Santa Catarina	Porto Itapoá Terminais Portuários - Terminal de Uso Privativo Itapoá	74%
DMU 7	São Paulo	Terminal de Uso Privativo Dp World Santos	65%
DMU 8	Pernambuco	Porto de Suape - Tecon Suape	65%
DMU 9	Bahia	Porto de Salvador - Tecon Salvador	68%
DMU 10	Rio de Janeiro	Porto do Rio De Janeiro - Multi Rio T2	55%
DMU 11	Amazonas	Terminal de Uso Privativo de Chibatão	15%
DMU 12	Amazonas	Terminal de Uso Privativo Super Terminais	27%
DMU 13	Pará	Porto de Vila Do Conde - Terminal de Múltiplo Uso 1	29%
DMU 14	Amazonas	Terminal de Uso Privativo de Chibatão Navegação e Comércio	100%
DMU 15	Rondônia	Terminal de Uso Privativo Passarão	94%

Tabela 20: Resultado da eficiência no modelo DEA CCR
Fonte: Autor

Os terminais TUP Chibatão, TUP Super Terminais e Multiuso 1 apresentaram os piores desempenhos da pesquisa, com índices de eficiência iguais a 15%, 27% e 29%, respectivamente. Esses terminais também apresentaram valores baixos de pranchas médias (36, 26 e 15 contêineres/h, respectivamente) e movimentações de contêineres (3.764.453,56, 2.167.411,95 e 1.402.628,23 toneladas) em 2018, como é possível observar no Gráfico 3, que mostra a prancha média e a movimentação de contêineres em cada terminal.

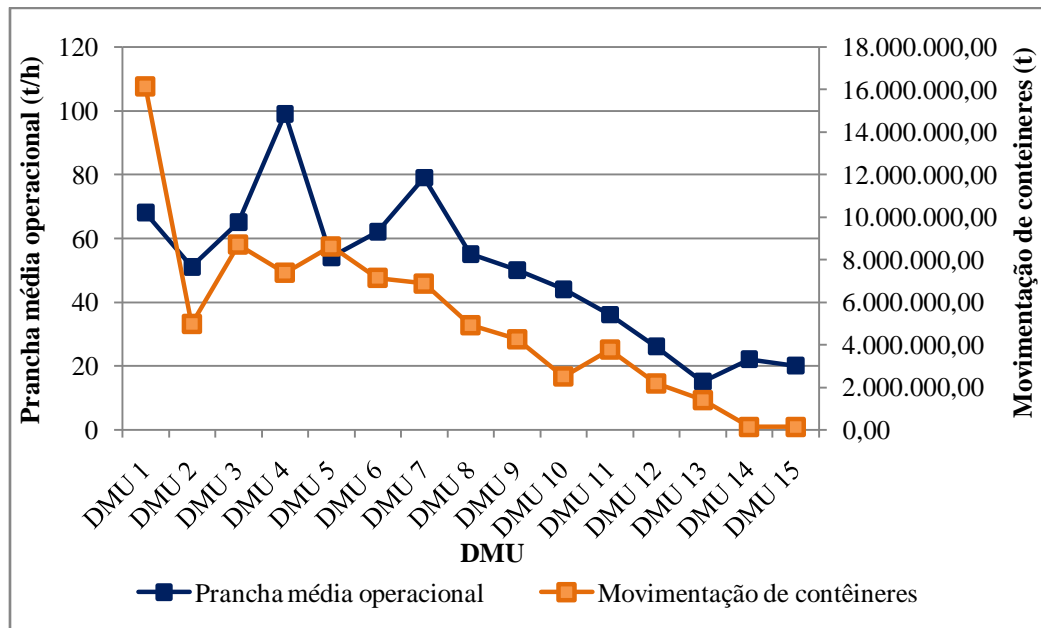


Gráfico 3: Prancha média operacional e movimentação de contêineres das DMUs analisadas
 Fonte: Autor

Além disso, esses terminais possuem elevados tempos médios de operação, com tempos iguais a 48,7, 28,5 e 25,6 horas, nessa ordem e elevados tempos de atracação, sendo os tempos de atracação iguais a 54,9, 35,8 e 31,6 horas, respectivamente, no período analisado. Elevados tempos médios de operação contribuem para a ineficiência desses terminais e como o tempo de atracação é um importante indicador para determinar a prancha média operacional (Equação 14), valores elevados dessa variável acabam refletindo no baixo desempenho operacional desses terminais.

O Gráfico 4 mostra o tempo médio de operação, o tempo de atracação, referentes ao ano de 2018 e a eficiência nos terminais analisados.

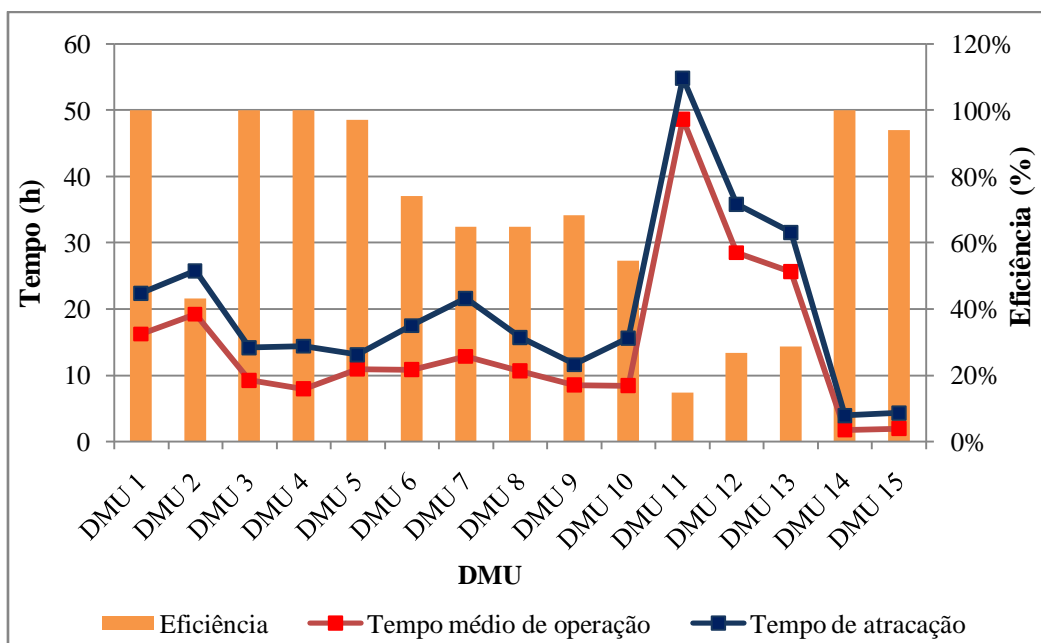


Gráfico 4: Tempo médio de operação, tempo de atracação e eficiência das DMUs analisadas
Fonte: Autor

Os terminais Libra Terminais, Paranaguá TCP e Portonave foram classificados como eficientes, logo apresentaram eficiência igual 100%.

Na região norte, o terminal Chibatão Navegação e Comércio foi o único terminal que apresentou eficiência igual a 100%. Já o terminal Passarão, apesar de não ser eficiente, alcançou um bom desempenho, com eficiência igual a 94%. Esses terminais, apesar da baixa movimentação de contêineres 136.803 toneladas (DMU 14) e 132.961 toneladas (DMU 15), e da baixa prancha média 22 t/h (DMU 14) e 20 t/h (DMU 15), apresentaram os menores tempos médios de operação, 1,7 e 1,9 horas, respectivamente. Assim como, os menores tempos de atracação, sendo esses iguais a 3,9 e 4,3 horas, nessa ordem, entre os terminais analisados, como pode ser observado nos Gráficos 5 e 6, respectivamente. Dessa forma, esses baixos tempos acabam compensando os baixos valores registrados de movimentação de contêineres e prancha média nesses terminais, potencializando suas eficiências.

A partir dos resultados de ambos os cenários analisados, nota-se que o primeiro cenário está mais condizente com a realidade dos terminais da região norte. No qual é observado à necessidade de ampliação da movimentação de contêineres e a redução dos atuais tempos médios de operação dos terminais do norte do Brasil, para que assim se tornem mais eficientes e competitivos.

Os portos públicos e privados estão passando por um processo de desenvolvimento de suas gestões operacionais através de um projeto do Governo Federal chamado porto sem papel (PSP). O PSP tem como finalidade uma maior organização e agilidade na liberação das operações dos navios e assim alcançar qualidade de atendimento semelhante aos melhores portos mundiais (MINORI, 2013). Esse projeto pode contribuir de forma significativa na ampliação da capacidade operacional e no aumento da eficiência dos terminais localizados nesses portos, através da redução dos processos burocráticos e de melhores índices operacionais.

6. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM OUTRAS PESQUISAS PUBLICADAS QUE AVALIARAM A EFICIÊNCIA NO SETOR PORTUÁRIO

6.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DOS PORTOS ORGANIZADOS BRASILEIROS (SILVA, 2015)

O método DEA foi utilizado por (Silva, 2015) para analisar a eficiência operacional de portos organizados do Brasil. Para isso, foram considerados na análise portos organizados que movimentam contêineres e que possuem equipamentos próprios para a movimentação desse tipo de carga, no período de 2012 a 2014.

Na pesquisa de (Silva, 2015) foram considerados 16 portos, sendo apenas dois localizados na região norte, o Porto de Vila do Conde e o Porto de Santarém.

Com base em dados disponibilizados pela ANTAQ, (Silva, 2015) considerou como *input* da pesquisa a variável tempo médio atracado e como *outputs* as variáveis prancha media e a quantidade de contêineres movimentados em TEUs.

(Silva, 2015) realizou uma abordagem diferente da abordagem apresentada nessa dissertação. Primeiramente, com relação ao modelo DEA considerado, a autora utilizou a modelagem DEA BCC com orientação a *output*. A escolha das DMUs também foi feita de maneira diferente, (Silva, 2015) não discriminou os terminais de contêineres por porto.

Apesar disso, foi possível observar semelhanças entre os resultados expostos em (Silva, 2015) e os resultados encontrados nessa dissertação. O Porto de Santos alcançou o melhor desempenho entre os Portos analisados, sendo eficiente nos três anos investigados em (Silva, 2015), nessa dissertação o terminal Tecon Santos, localizado no Porto de Santos, foi eficiente em ambos os cenários analisados. O Porto de Paranaguá alcançou um bom desempenho em ambos os trabalhos. Na pesquisa de (Silva, 2015) foi eficiente em dois anos dos três anos analisados, 2013 e 2014. Nessa dissertação, o terminal Paranaguá TCP, implantado no Porto de Paranaguá, alcançou o segundo melhor desempenho entre todos os terminais analisados com eficiência igual a 95% no primeiro cenário. Já no segundo cenário foi classificado com eficiente.

Com relação à região norte, o Porto de Vila do Conde é o único que aparece em ambos os estudos. No trabalho de (Silva, 2015) o Porto de Vila do Conde apresentou baixas eficiências nos anos avaliados. Segundo (Silva, 2015), apesar da elevada quantidade de embarcações recebida pelo Porto, a baixa produtividade média do porto causa efeitos negativos na movimentação de TEUS. Igualmente nessa dissertação, nos dois cenários analisados, o terminal Múltiplo Uso 1 que está localizado no Porto de Vila do Conde obteve um baixo desempenho.

6.2 TERMINAIS DE CONTÊINERES NO BRASIL: EFICIÊNCIA INTERTEMPORAL (KIRCHNER E LUCAS, 2018)

(Kirchner e Lucas, 2018) utilizaram o método DEA na análise da eficiência de 20 terminais de contêineres brasileiros nos anos de 2010 a 2012.

Com relação às variáveis inputs e outputs os autores utilizaram na pesquisa, o número de atracações, a prancha média, a consignação média e a área do terminal como *inputs*, e a quantidade de contêineres movimentada em toneladas como *output*.

(Kirchner e Lucas, 2018) observaram um baixo poder discriminatório nos resultados das eficiências geradas no modelo BCC. Em virtude disso, utilizaram o modelo CCR para a análise da eficiência dos terminais de contêineres.

Nos resultados apresentados por (Kirchner e Lucas, 2018) os terminais Tecon Santos Brasil e Libra Terminais, ambos localizados no Porto de Santos, alcançaram a eficiência máxima nos três nos analisados. No que esse refere aos resultados dessa dissertação, o terminal Tecon Santos Brasil foi classificado como eficiente em ambos os cenários analisados, porém o terminal Libra Terminais apresentou baixos índices de eficiência nos cenários analisados.

No que diz respeito à região norte, (kirchner e Lucas, 2018) analisaram dois terminais localizados na região norte que também fizeram parte dessa pesquisa, o TUP Chibatão e o TUP Super Terminais. O terminal TUP Chibatão foi classificado como eficiente nos três anos analisados, diferentemente do que foi observado nos resultados apresentados nessa dissertação, no qual foi classificado como ineficiente em ambos os cenários analisados. No caso do TUP Super Terminais, assim como foi observado nessa dissertação, (Kirchner e

Lucas, 2018) constataram que esse terminal esta operando de forma ineficiente. Porém, apesar de ineficiente, os autores observaram uma evolução da eficiência ao longo dos anos analisados.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 CONCLUSÕES

Essa dissertação analisou a eficiência dos terminais de contêineres da região norte a partir da comparação com os principais terminais de contêineres do Brasil. Para essa análise foram definidos os 15 terminais que mais movimentaram contêineres na região norte e no Brasil em 2018.

A seleção das variáveis relevantes para a pesquisa foi realizada através dos métodos de seleção de variáveis CNU e Multicritério, sendo o modelo CCR utilizado na aplicação desses métodos, visto que ao comparar os modelos DEA CCR e BCC, o modelo CCR apontou um maior poder de discriminação.

No primeiro cenário, foram utilizados como *inputs*, a consignação média, o tempo médio de operação e a prancha média operacional, pois estavam presentes nos resultados de ambos os métodos de seleção de variáveis. A variável quantidade de atracções foi retirada da análise, pois apesar de elevar a eficiência média e apresentar o maior coeficiente de correlação com o *output* movimentação de contêineres produziu uma DMU falsa eficiente.

No primeiro cenário, o modelo CCR se mostrou mais adequado para a análise das eficiências, metas e benchmarks das DMUs analisadas devido o modelo BCC nos resultados do cálculo da eficiência mostrar um baixo poder discriminatório, além de apresentar DMUs falsas eficientes. Sendo então, o modelo BCC usado apenas para o cálculo das eficiências de escala e retorno a escala.

Na primeira análise da eficiência operacional dos terminais de contêineres, tendo como *output* apenas a movimentação de contêineres, o único terminal que alcançou a eficiência máxima de 100% foi o Terminal Tecon Santos Brasil, localizado no Porto de Santos.

Nesta análise, os terminais da região norte apresentaram um baixo desempenho, apesar disso o TUP Chibatão apresentou a maior eficiência entre os terminais da região norte, alcançou uma eficiência igual a 44%. Os terminais Super Terminais, Múltiplo Uso 1, Chibatão Navegação e Comércio e Passarão apresentaram as menores eficiências da pesquisa, com 35%, 39%, 25% e 25%, respectivamente.

No primeiro cenário, foi constatado que todos os terminais da região norte apresentaram muito baixas eficiências de escala (inferior a 90%). Apesar disso, os TUPs Chibatão e Super Terminais apresentaram as maiores eficiências de escala entre os terminais da região norte analisados com 85% e 72%, respectivamente. Já os terminais Múltiplo Uso 1, Chibatão Navegação e Comércio e Passarão alcançaram eficiências de escala iguais a 39%, 25% e 25%, nessa ordem. Além disso, foi verificado que os terminais da região norte estão operando abaixo de suas escalas ótimas de operação, logo esses terminais precisam otimizar suas escalas de operação através de equipamentos de movimentação de carga adequados, para que assim possa ser ampliada a movimentação de contêineres nesses terminais.

Ainda neste cenário, o Benchmark para as DMUs ineficientes é o terminal Tecon Santos Brasil, já que foi o único terminal classificado como eficiente. Todos os terminais da região norte precisam elevar suas movimentações de contêineres para se tornarem eficientes, sendo o TUP Chibatão Navegação e Comércio e o TUP Passarão os terminais que apresentaram os piores desempenhos e as menores movimentações de contêineres, precisando então aumentar suas movimentações em 301% e 305%, respectivamente. Os terminais Chibatão, Super Terminais e Múltiplo Uso 1 precisam elevar suas movimentações atuais em 127%, 185% e 154%, nessa ordem.

Os terminais da região norte possuem elevados tempos de operação, o que acaba refletindo em baixas produtividades, assim como em menores índices de eficiência. As exceções são os terminais Chibatão Navegação e Comércio e Passarão, neste caso ambos precisam reduzir seus tempos de operação atuais (1,7 e 1,9 horas, respectivamente) para 1 hora. Já os terminais Chibatão, Super Terminais e Múltiplo Uso 1 precisam atingir tempos de operação iguais a 9, 6 e 4 horas, respectivamente, para aumentarem seus índices de eficiência.

No segundo cenário analisado, tendo como *outputs* a movimentação de contêineres e a prancha média os terminais Chibatão, Super Terminais e Múltiplo Uso 1, com eficiências iguais a 15%, 27% e 29%, respectivamente, apresentaram menores índices de eficiência em comparação ao primeiro cenário. Sendo esses terminais os que possuem os maiores tempos médios de operação e atracação.

Os TUPs Passarão e Chibatão Navegação e Comércio apresentaram excelentes desempenhos no segundo cenário, com eficiências iguais a 94% e 100%. Sendo então, o TUP

Chibatão Navegação e Comércio o único terminal eficiente da região norte nessa análise. A melhora da eficiência desses terminais nesse cenário se deve aos baixíssimos tempos médios de operação e atracação apresentados por esses terminais, que acabam equilibrando os menores valores registrados de movimentação de contêineres e prancha média.

Foi verificado, em ambas as análises realizadas, a necessidade de melhorar os atuais indicadores operacionais dos terminais de contêineres da região norte mediante investimentos em infraestrutura, equipamentos e sistemas de gerenciamento adequados para atender as necessidades desses terminais e então, torná-los competitivos diante dos principais terminais nacionais que movimentam contêineres.

Dessa forma, os resultados apresentados nessa pesquisa obtidos a partir da aplicação do método Análise Envoltória de Dados se mostraram coerentes com a realidade apresentada pelos terminais da região norte.

Sendo assim, espera-se que os resultados dessa pesquisa possam servir para a orientação dos gestores e planejadores da região norte na melhoria do sistema operacional dos terminais analisados de forma que esses terminais possam operar de maneira eficiente.

É importante destacar que a principal limitação observada no desenvolvimento da pesquisa foi a falta de dados consistentes disponibilizados dos terminais da região norte, impedindo que fosse realizada a análise ao longo de vários períodos.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Ampliar o número de terminais de contêineres localizados na região norte analisados, para que assim seja possível conhecer o desempenho do maior número possível de terminais da região.
2. Adicionar a análise realizada nessa dissertação terminais localizados em outros países, para que seja realizada a análise a nível internacional.
3. Aplicar o método DEA para analisar os terminais de contêineres da região norte utilizando indicadores relacionados à infraestrutura.
4. Realizar a análise da eficiência semelhante à apresentada nessa pesquisa aumentando o período analisado para que assim seja possível analisar o desempenho dos terminais de contêineres ao longo dos anos.

8. VIABILIDADE

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEGOKE, A. Benchmarking Sustainability Performance of Ports. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas em Engenharia Industrial). Concordia University. Canada, 2018.
- ALHAMEEDI, M. E. A. S.; SAID, A. J.; MUDJIONO, T. W. Performance evaluation and solutions for port congestion focused on the container terminal: a case study of Khalifa bin Salman Port (KBSP) Kingdom of Bahrain. Dissertação (Mestrado em Ciência e Assuntos Marítimos). World Maritime University. Malmö, Sweden, 2018.
- ALRASHIDI, A. N. Data envelopment analysis for measuring the efficiency of head trauma care in England and Wales. Tese (Doutorado em filosofia). University of Salford Manchester. Reino Unido, 2015.
- ALMAWSHEKI, E. S.; SHAH, M. Z. Technical Efficiency Analysis of Container Terminals in the Middle Eastern Region. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, v. 31, n. 4, p. 477-486, 2015.
- ANDENOWORIH, T. H. Measuring Relative Container Terminal Efficiency in Indonesia. Dissertação (Mestrado em Economia Marítima e Logística). Erasmus University Rotterdam. Holanda, 2010.
- ANDRADE, R. M. et al. Port Efficiency Incorporating Service Measurement Variables by the BiO-MCDEA: Brazilian Case. *Sustainability*, v.11, 2019.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em 20/03/2019.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em: 10/02/2019.
- ARRUDA, C. M.; NOBRE JÚNIOR, E. F.; MAGALHÃES, P. S. B. Método dos indicadores de desempenho proposto pela ANTAQ: uma aplicação ao terminal portuário do Pecém. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.
- BARROS, C.P; ATHANASSIOU, M. “Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal”. *Maritime Economics & Logistics*, v6 , 122–140, 2004. Disponível em:< https://link.springer.com/chapter/10.1057/9781137475770_14>. Acesso em 16/04/2019.
- BELLONI, J. A. Uma Metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidades Federais Brasileiras. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.
- BOND, E. Medição de desempenho para gestão de suprimentos em um cenário de cadeia de suprimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.
- CABRAL, A. M. R. Competitividade portuária e eficiência técnica: uma aplicação utilizando fronteiras de produção e regressão beta inflacionada. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014.
- CASADO, F. L. Análise envoltória de dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior. *Revista Sociais e Humanas*, v.20, n.1, p.59-71, 2007. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/sociaisehumanas/article/view/907>>. Acesso em: 08/04/2019.

- CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe, 2019. Disponível em: <<https://www.cepal.org/pt-br>>. Acesso em: 26/08/2019.
- COHEN, M. d. I. A. M.; PAIXÃO, A. N.; OLIVEIRA, N. M. Eficiência nas universidades federais brasileiras: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados. Igepec, Toledo, v. 22, n.1, p. 133-149, 2018.
- CORRÊA, E. J. M. Uma proposta de reflexão sobre a navegação de cabotagem no Brasil a partir de um sistema de fluxos e fixos aquaviários voltados para a fluidez territorial. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, v.14, n.25, 2017.
- CULLINANE, K. P. B ; WANG,T-F. The efficiency of European container ports: a cross-sectional data envelopment analysis. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v. 9, n. 1, p.19–31, 2006. Disponível em:<<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675560500322417>>. Acesso em: 16/04/2019.
- DATAMAR. ECSA Container Terminals Report 2019. Disponível em: <<https://ecsareport2019.datamar.com.br/>>. Acesso em: 10/08/2019.
- EMROUZNEJAD, A; CABANDA, E. Introduction to Data Envelopment Analysis and its applications, in Osman et al. (Eds.) *Handbook of Research on Strategic Performance Management and Measurement Using Data Envelopment Analysis*, p. 235-255. IGI Global, USA, 2015.
- ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, v. 136, p. 32-45, 2002.
- FARHADI, M. Transport infrastructure and long-run economic growth in OECD countries. *Transportation Research Part A: A Policy Pract*, v.74, p.73–90, 2015.
- FERREIRA, D. H. L. Análise da sustentabilidade de empresas: uma aplicação da análise envoltória de dados. *Revista Produção Online*, v. 19, n. 1, p. 3-20. Florianópolis, 2019.
- FORSUND F.R. Economic interpretations of DEA, *Socio-Economic Planning Sciences*, 2017.
- FREITAS, A. P. et al. Aplicação de método de seleção de variáveis em um modelo DEA na produção de bovinos de corte. *ENGEVISTA*, v. 19, n.4, p. 881-889, 2017.
- GAMEIRO, V. C. Métodos e modelos de discriminação na metodologia DEA. Dissertação (Mestrado em Contabilidade e Gestão das Instituições Financeiras). Instituto Politécnico de Lisboa. Lisboa, 2016.
- GIACOMELLO, C. P.; OLIVEIRA, R. L. Análise envoltória de dados (dea): uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade. *Revista Gual*, v. 7, n. 2, p. 130-151. Florianópolis, 2014.
- GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. *Gestão da cadeia de Suprimentos Integrada a Tecnologia da Informação*. Segunda Edição, Cengage Learning. São Paulo, 2013.
- GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, J. P. C.; COSTA, H. G. Eficiência Operacional dos Portos Brasileiros: Fatores Relevantes. *Sistemas & Gestão*, v. 8, n. 2, p. 118-128, 2013.
- GONZALEZ-ARAYA, M.C. Projeções Não Radiais em regiões fortemente eficientes da fronteira DEA – Algoritmos e aplicações. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

- GOBBI, C. N. et al. Efficiency in the environmental management of plastic wastes at Brazilian ports based on data envelopment analysis. *Marine pollution bulletin*, v. 142, p. 377-383, 2019.
- GRILO, J. F. C. Avaliação de desempenho de terminais de carga geral fraccionada: Aplicação do método DEA. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval). Centro de Engenharia e Tecnologia Naval e Oceânica. Lisboa, 2014.
- HORST, M. V. D. Coordination problems in container barging in the port of Rotterdam: an institutional analysis. *Transportation Planning and Technology*, v. 42, n. 2, p. 187-199, 2019.
- HSU, W. Improving the service operations of container terminals. *The International Journal of Logistics Management*, v. 24, n. 1, p.101-116, 2013.
- IHS MARKIT, 2019. Disponível em:< <https://ihsmarkit.com/research-analysis/maritime-trade.html>>. Acesso em: 26/08/2019.
- JAYAMAHA, A.; MULA, J. Productivity and Efficiency Measurement Models: Identifying the Efficacy of Techniques for Financial Institutions in Developing Countries. School of Accounting, Economics and Finance, Australia, 2011.
- JUBRAN, A. J. Modelo de análise e eficiência na gestão pública: Estudo aplicado às prefeituras brasileiras usando a Análise Envoltória de Dados. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- JULIEN, S.-A.; COWIE, J.; MONIOS, J. Efficiency, productivity and returns to scale in ports: a comparison of data envelopment analysis and econometric estimation with application to Caribbean Small Island Developing States. *Maritime Economics & Logistics*, 2018.
- KIRCHNER, L. H. C. Avaliação da eficiência dos terminais de contêineres através da análise envoltória de dados e do índice de Malmquist. Dissertação (Mestrado em Regulação e Gestão de Negócios). Universidade de Brasília. Brasília, 2013.
- KIRCHNER, L. H. C.; LUCAS V. M. Terminais de contêineres no Brasil: eficiência intertemporal. *Economia Aplicada*, v. 22, n. 1, p. 63-86, 2018.
- KUTIN, N.; NGUYEN, T. T.; VALLÉE, T. Relative efficiencies of ASEAN container ports based on Data Envelopment Analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, v. 33, n. 2, p. 67-77, 2017.
- LIMA et al. Análise Da Eficiência De Pequenas Propriedades Rurais Através Do Método Da Análise Envoltória De Dados (Dea). *Informe Gepec*, Toledo, v. 20, n.2, p. 58-70, 2016.
- LIMA, V. A. M. O. Análise da eficiência técnica ambiental, econômica e social de assentamentos rurais em Mato Grosso do Sul por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional). Universidade Anhanguera. Campo Grande, 2018.
- LOPEZ-BERMUDEZ, B.; FREIRE-SEOANE, M. J.; GONZALEZ-LAXE, F. Efficiency and productivity of container terminals in Brazilian ports (2008–2017). *Utilities Policy*, Elsevier, v. 56(C), p 82-91, 2018.
- LOVELL, C. A. K.; ECKHAUT, P. V. Frontier tales: DEA and FDH. *Mathematical Modeling in Economics*, p.446-457, 1993.
- MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; REBELATTO, D. A. N. Peculiaridades da análise por envoltória de dados. In. XII SIMPEP, Bauru, 2006.

- MARIANO, E. B. Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- MEZA, L. A. Data Envelopment Analysis (DEA) na Determinação da Eficiência dos Programas de Pós-Graduação do COPPE/UFRJ. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1998.
- MEZA, L. A. et al. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. *Investigação Operacional*, v. 27, n. 1, p. 21-36. Lisboa, 2007.
- MEZA, L. A. et al. ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.3, p.493-503. Rio de Janeiro, 2005.
- MINORI, A. M. Índice da competitividade logística de cargas em contêineres nos portos da cidade de Manaus. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2013.
- MIRANDA, M. G. Análise da eficiência de unidades de negócio do varejo utilizando DEA (Data Envelopment Analysis). Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência da Computação). Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2015.
- MOITA, M. H. V. Um modelo de avaliação de eficiência técnica de professores universitários utilizando análise envoltória de dados: O caso dos professores da Área de engenharia. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
- MOON, D. S. H.; WOO, J. K.; KIM, T. G. Green Ports and Economic Opportunities. *WMU Studies in Maritime Affairs*, 2018.
- NOTTEBOOM, T. E. The relationship between seaports and the intermodal hinterland in light of global supply chains: European challenges. Discussion Paper, 10 de mar. 2008.
- NGUYEN, H.-O. et al. Measuring port efficiency using bootstrapped DEA: the case of Vietnamese ports. *Maritime Policy & Management*, 2015.
- OLYAIE, D. et al. Stochastic ranking and dominance in DEA. *International Journal of Production Economics*, 2019.
- OLIVEIRA, L. S. M. E. Comparação de métodos de apoio à decisão na seleção de um imóvel. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2008.
- PLANO MESTRE - PORTO DE MANAUS. Florianópolis, p.357, 2013.
- PLANO MESTRE - PORTO DE PORTO VELHO. Florianópolis, p.52 , 2014.
- PLANO MESTRE - COMPLEXO PORTUÁRIO DE BELÉM E VILA DO CONDE, Florianópolis, p.96, 2017.
- REBOLLEDO-LEIVA, R. et al. Comparing two CF+DEA methods for assessing eco-efficiency from theoretical and practical points of view. *Science of the Total Environment*, v.659, p.1266–1282, 2019.
- RIBEIRO, A. Á. G. et al. Alternativas aos desafios enfrentados na movimentação de cargas de/para Manaus: um estudo de caso de uma empresa do setor de transporte rodo-fluvial de

cargas. Especialização em Gestão de Negócios. Programa de Especialização em Gestão de Negócios. Fundação Dom Cabral. Manaus, 2017.

RODRIGUE, J. P. *The Geography of Transport Systems*: 3. ed. New York: Routledge, 2013.

ROLL, Y.; HAYUTH, Y. Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). *Maritime Policy and Management: The Flagship Journal of International Shipping and Port Research*, v. 20, n. 2, p. 153–161, 1993.

SANTOS, J. T. D. A. N et al. Atributos de desempenho da operação de cabotagem - um estudo no terminal privativo em Manaus – AM. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, 2010.

SENRA, L. F. A. D. C. et al. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. *Pesquisa Operacional*, v.27, n.2, p.191-207, 2007.

SEP – Secretaria de Portos, 2017. Disponível em: <<http://infraestrutura.gov.br/sistema-portu%C3%A1rio.html>>. Acesso em: 07/10/2019.

SCHØYEN, H.; ODECK, J. The technical efficiency of Norwegian container ports: A comparison to some Nordic and UK container ports using Data Envelopment Analysis (DEA). *Maritime Economics & Logistics*, v.15, p.197–221, 2013.

SILVA, A. C. Análise do desempenho operacional dos portos organizados brasileiros. Dissertação (Mestrado em Administração). Fundação Instituto Capixaba de Pesquisas em Contabilidade, Economia e Finanças-FUNAPE. Vitória, 2015.

SILVEIRA, J. Q.; MEZA, L. A.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Identificação de *benchmarks* e *anti-benchmarks* para companhias aéreas usando modelos DEA e fronteira invertida. *Produção*, v. 22, n.4. São Paulo, 2012.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, v.23, n.2, p.325-345, 2003.

SOLGI, O. et al. Implementing an efficient data envelopment analysis method for assessing suppliers of complex product systems. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, v. 12, N. 2, p. 113-137, 2019.

SOUSA JÚNIOR, J. N.C. Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. *Journal of Transport Literature*, v.7, n.4, p.75–106, 2013.

SOUZA, C. C. et al. Eficiência técnica de pequenos produtores de soja da região de Dourados (MS). *Revista Espacios*, v.38, n. 26, p.9-21, 2017.

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

TETTEH, E. A.; YANG, H.; GOMINA MAMA, F. Container Ports Throughput Analysis: A comparative evaluation of China and five West African Countries Seaports efficiencies. *International Journal of Engineering Research in Africa*. Trans Tech Publications, v. 22, p. 162-173. Switzerland, 2016.

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37, p. 158-67, 1994.

YU, Y.-S. et al. A comparison of ratios and data envelopment analysis: Efficiency assessment of Taiwan public listed companies. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, v. 4, n. 1, p. 212-219, 2014.

WOO, S.-H.; PETTIT, S.; BERESFORD, A. K.C. Port evolution and performance in changing logistics environments. *Maritime Economics & Logistics*, v. 13, n.3, p.250-277, 2011.

ZAHRAN, Z. S. et al. Analysis of port authority efficiency using data envelopment analysis. *Maritime Economics & Logistics*, 2015.

ZHANG, X.; ROE, M. Port Competition. *Maritime Container Port Security*. Palgrave Macmillan, Cham, 2019.

ZHANG, Q.; ZHU, X. Research on scheduling of synchronizes handling operation of Railway Container Terminals. *Journal of physics: conference series*, v. 1176, n. 5. IOP Publishing, 2019.