



UnB

LEOPOLDO HEITOR CAPELINI KIRCHNER

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES ATRAVÉS DA
ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E DO ÍNDICE DE MALMQUIST**

Brasília

2013

LEOPOLDO HEITOR CAPELINI KIRCHNER

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES ATRAVÉS DA
ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E DO ÍNDICE DE MALMQUIST**

Dissertação apresentada como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Regulação e Gestão de Negócios junto à Universidade de Brasília – UnB.

Orientação: Prof. Vander Mendes Lucas, Ph.D.

Brasília

2013

Kirchner, Leopoldo Heitor Capelini, 1975

Avaliação da Eficiência dos Terminais de Contêineres Através da Análise Envoltória de dados e do Índice de Malmquist – Brasília, 2013, XX fls.

Dissertação de Mestrado: Universidade de Brasília – UnB, Centro de Estudos e Regulação de Mercados – CERME, Mestrado Profissional em Regulação e Gestão de Negócios – REGEN, 2013.

Orientação: Prof. Vander Mendes Lucas, Ph.D.

1. Análise Envoltória de Dados. 2. Índice de Malmquist. 3. Eficiência dos Terminais de Contêineres. 4. DEA.

LEOPOLDO HEITOR CAPELINI KIRCHNER

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES ATRAVÉS DA
ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E DO ÍNDICE DE MALMQUIST**

Dissertação apresentada como pré-requisito
para a obtenção do título de Mestre em
Regulação e Gestão de Negócios junto à
Universidade de Brasília – UnB.

Data de aprovação: 23 / 10 / 2013

Prof. Dr. Vander Mendes Lucas
Universidade de Brasília - UnB

Prof. Dr. Carlos Henrique Rocha
Universidade de Brasília - UnB

Prof. Dr. Alexandre Xavier Ywata de Carvalho
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA

Dedico este trabalho à Fabíolla, minha esposa, minha amada, pela compreensão, paciência, apoio e ajuda nessa fase.

À meus pais, minha avó, e minha irmã, que me apoiaram não só durante o curso, mas por toda minha vida.

Ao meu sobrinho, que sempre me deu muitas alegrias.

RESUMO

Atualmente, a eficiência dos portos passou a ser alvo de vários estudos. Cada vez mais tem-se a necessidade de se medir, de alguma maneira, não só a eficiência em um determinado ponto no tempo, mas também a evolução do indicador ao longo de uma série histórica. Esta dissertação tem o objetivo principal fornecer subsídios para uma metodologia inicial de análise de eficiência e produtividade. O universo de atividades portuárias é muito grande e muito diversificado, e em razão disso deve-se segmentar a análise por natureza de carga. Neste trabalho o foco será dado à análise da eficiência dos terminais que movimentam contêineres. Serão aplicadas duas metodologias: a análise envoltória de dados – DEA, que tem como objetivo principal medir o desempenho de unidades tomadoras de decisão (DMUs), que transformam *inputs* em *outputs* e o índice de Malmquist, que analisa a produtividade de cada DMU relativamente ao conjunto de unidades que se deseja comparar ao longo do tempo. Nesta dissertação a análise está restrita aos períodos de 2010, 2011 e 2012, contudo, a ideia principal é criar uma metodologia de aplicação contínua para obter, em alguns anos, uma série histórica que poderá indicar quais medidas devem ser tomadas previamente para se alcançar melhores índices de eficiência e produtividade.

ABSTRACT

Ports efficiency has currently become the subject of several studies. Consequently, the need to measure it at a given point in time and its evolution at some point in the future has increased. This paper aims to provide subsidies to build an initial methodology for efficiency and productivity analyses. The universe of port activities is very large and very diverse, and for this reason it should be a segmental analysis by type of cargo. In this work the focus will be given to the analysis of the efficiency of container terminals. Two methodologies will be applied: the data envelopment analysis – DEA, whose main objective is to measure the performance of decision making units (DMUs), which transform *inputs* into *outputs*, and the Malmquist index, which analyzes the productivity of each DMU in relation to all the units that we want to compare over time. In this dissertation, the analysis is restricted to the periods of 2010, 2011 and 2012. However, the main idea is to create a methodology for continuous application, and in a few years, build a time series that may indicate which actions should be taken in advance in order to achieve better levels of efficiency and productivity.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Considerações Iniciais.....	10
1.2 Estrutura da dissertação.....	12
CAPÍTULO 2 – A MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS NOS PORTOS BRASILEIROS	14
2.1 Como chegam as informações de movimentação de cargas na ANTAQ.....	14
2.2 Evolução da movimentação de cargas	14
CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO: ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA E ÍNDICE DE MALMQUIST	18
3.1 Introdução à análise envoltória da dados	18
3.2 A modelagem DEA.....	21
3.2.1 O modelo CCR	21
3.2.2 O modelo BCC	24
3.3 Métodos para seleção de variáveis.....	28
3.3.1 Método I-O <i>Stepwise</i> exaustivo completo.....	29
3.3.2 Método multicritério combinatório inicial	30
3.3.3 Método multicritério combinatório por cenários	31
3.4 Cálculo do Índice de Malmquist.....	32
CAPÍTULO 4 – MEDINDO EFICIÊNCIA NOS TERMINAIS DE CONTÊINERES ATRAVÉS DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA E DO ÍNDICE DE MALMQUIST	38
4.1 Introdução	38
4.2 Seleção das DMUs.....	38
4.3 Seleção das variáveis.	41
4.3.1. Indicadores pré-selecionados.....	42
4.3.2 Análise e seleção final das variáveis	47
4.4. Escolha do tipo de modelagem envoltória de dados.....	60
4.5. Cálculo das metas para as DMUs ineficientes.....	65
4.6. Avaliação da evolução das eficiências segundo Índice de Malmquist	66
CAPÍTULO 5 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM OUTROS ESTUDOS.....	69
5.1. Estudos referentes à análise de eficiência através de uma modelagem DEA.....	69
5.2. Análise da evolução da produtividade através do Índice de Malmquist.....	74

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	78
6.1. Análise da eficiência segundo DEA-CCR orientado a <i>outputs</i>	78
6.2. Análise da evolução da produtividade através do Índice de Malmquist.....	80
6.3. Sugestões para estudos futuros	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICE	86

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O governo federal editou em dezembro de 2012 a Medida Provisória (MP) n° 595, que veio para substituir a Lei n° 8.630/1993. O objetivo dessa MP foi dispor sobre um novo regime de exploração dos portos organizados, instalações portuárias e também sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários.

O “custo Brasil” no cenário internacional, a modicidade das tarifas e o aumento da eficiência das atividades desenvolvidas nos portos estão entre os principais pontos de relevância para a edição dessa MP.

A MP n° 595/2012 foi convertida na Lei n° 12.815/2013. A questão da eficiência dos portos ganhou destaque, e nesse ponto cabe citar alguns trechos da referida lei.

“Art. 3° A exploração dos portos organizados e instalações portuárias, com o objetivo de aumentar a competitividade e o desenvolvimento do País, deve seguir as seguintes diretrizes:

...

*III - estímulo à modernização e ao aprimoramento da gestão dos portos organizados e instalações portuárias, à valorização e à qualificação da mão de obra portuária e à **eficiência das atividades prestadas**;*”

*“Art. 6° Nas licitações dos contratos de concessão e arrendamento, serão considerados como critérios para julgamento, de forma isolada ou combinada, **a maior capacidade de movimentação**, a menor tarifa ou **o menor tempo de movimentação de carga**, e outros estabelecidos no edital, na forma do regulamento.*

...

§ 2° Compete à Antaq, com base nas diretrizes do poder concedente, realizar os procedimentos licitatórios de que trata este artigo.

...

*§ 6° O poder concedente poderá autorizar, mediante requerimento do arrendatário, na forma do regulamento, expansão da área arrendada para área contígua dentro da poligonal do porto organizado, sempre que a medida trouxer comprovadamente **eficiência na operação portuária**.”*

“Art. 8° Serão exploradas mediante autorização, precedida de chamada ou anúncio públicos e, quando for o caso, processo seletivo público, as instalações portuárias localizadas fora da área do porto organizado, compreendendo as seguintes modalidades:

I - terminal de uso privado;

II - estação de transbordo de carga;

III - instalação portuária pública de pequeno porte;

IV - instalação portuária de turismo;

...

Art. 9º Os interessados em obter a autorização de instalação portuária poderão requerê-la à Antaq a qualquer tempo, na forma do regulamento.

§ 1º Recebido o requerimento de autorização de instalação portuária, a Antaq deverá:

I - publicar o extrato do requerimento, inclusive na internet; e

II - promover a abertura de processo de anúncio público, com prazo de 30 (trinta) dias, para identificar a existência de outros interessados na obtenção de autorização de instalação portuária na mesma região e com características semelhantes.

...

Art. 12º Encerrado o processo de chamada ou anúncio público, o poder concedente deverá analisar a viabilidade locacional das propostas e sua adequação às diretrizes do planejamento e das políticas do setor portuário.

...

*§ 2º Havendo mais de uma proposta e impedimento locacional que inviabilize sua implantação de maneira concomitante, a Antaq deverá promover processo seletivo público, **observados os princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência.***

*§ 3º O processo seletivo público de que trata o § 2º atenderá ao disposto no regulamento e considerará como critério de julgamento, de forma isolada ou combinada, **a maior capacidade de movimentação, a menor tarifa ou o menor tempo de movimentação de carga,** e outros estabelecidos no edital.”*

É nesse contexto que este trabalho é inserido. Atualmente, existe uma grande necessidade na Agência Nacional de Transporte Aquaviários (ANTAQ) de se mensurar, de alguma maneira, a eficiência dos portos no Brasil. Do ponto de vista institucional, a análise da eficiência dos diversos segmentos da atividade portuária deverá ser levada em consideração para a concessão de arrendamentos e para autorização de instalações portuárias. Como não existe na agência reguladora, hoje, um mecanismo de avaliação dessas eficiências, essa dissertação tem o objetivo principal de fornecer uma metodologia inicial para tais análises.

O universo de atividades portuárias é muito grande e muito diversificado. A operação de movimentação de contêineres, por exemplo, é bem diferente da operação de granéis sólidos ou de granéis líquidos ou ainda de carga geral solta. No caso de granéis sólidos, a movimentação de minério de ferro não possui o mesmo desempenho da movimentação de soja (onde o clima influencia diretamente na operação). Por essa razão, cada segmento deve ter uma análise separada, ou seja, não se pode comparar a eficiência de um terminal de contêineres com um terminal de granel líquido ou com um terminal de granéis sólidos. Neste trabalho o foco será dado à análise da eficiência dos terminais que movimentam contêineres.

Existem alguns caminhos para se analisar a eficiência individual de um grupo de terminais portuários. As principais técnicas para avaliação de eficiências são:

- **Análise envoltória de dados – DEA**: técnica que se baseia fundamentalmente em programação linear, e tem como objetivo principal medir o desempenho de unidades tomadoras de decisão (DMUs), que transformam *inputs* em *outputs*.
- **Índice de Malmquist**: analisa a produtividade de cada DMU relativamente ao conjunto de unidades que se deseja comparar. Esse índice é calculado em termos de razões de função distância.
- **Fronteira estocástica**: objetiva estimar uma função de produção específica para dados *cross-section* ou dados de painel, com um termo de erro com dois componentes, sendo um para quantificar os efeitos aleatórios e outro para a ineficiência tecnológica.

Neste trabalho serão utilizadas os dois primeiros modelos descritos. Com DEA espera-se obter valores de eficiência pontuais, bem como definir metas de longo prazo para que os terminais possam alcançar cada vez mais um grau superior de eficiência. Com o índice de Malmquist, pretende-se entender a evolução da produtividade dos terminais ao longo do tempo. Nesta dissertação a análise está restrita aos períodos de 2010, 2011 e 2012, entretanto, a ideia principal é criar uma metodologia de aplicação contínua para obter, em alguns anos, uma série histórica que poderá indicar quais medidas devem ser tomadas previamente para se alcançar melhores índices de eficiência.

1.2 Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos, com o propósito de sistematizar seu desenvolvimento e alcançar os objetivos pretendidos.

O Capítulo 1 trata da introdução ao tema de pesquisa, explicitando a motivação do trabalho apresentado.

O Capítulo 2 faz um breve referencial contextual sobre a movimentação de cargas no Brasil, dando enfoque à movimentação de contêineres e sua evolução ao longo dos últimos anos. São apresentados, de forma sintética, alguns dos principais portos que movimentam este tipo de carga, e que estarão presentes na análise de eficiência desta dissertação.

O Capítulo 3 expõe o referencial teórico da dissertação. Nesse ponto será desenvolvida sucintamente a teoria existente sobre a análise envoltória de dados – DEA e sobre o índice de Malmquist. Sobre DEA serão feitas abordagens das principais definições, a seleção de variáveis para análise e a escolha da modelagem ideal para o tema em questão. Sobre o índice de Malmquist serão abordadas a formulação específica para este trabalho, bem como a explicação do significado desse índice e de suas decomposições.

O Capítulo 4 trata da aplicação detalhada de DEA e do índice de Malmquist nos principais terminais de contêineres do Brasil. São detalhados desde a escolha das DMUs para análise, passando pela escolha de variáveis consideradas como *inputs* e *outputs* até o tipo de modelagem DEA melhor adaptado à situação que se pretende estudar (modelagem com retornos constantes ou variáveis de escala, orientados para *inputs* ou *outputs*). Posteriormente é feita uma análise da evolução da produtividade de cada terminal do ponto de vista do índice de Malmquist, utilizando-se dos mesmos dados da análise anterior, permitindo assim uma comparação entre os resultados.

O Capítulo 5 compara os resultados obtidos utilizando a modelagem DEA e o índice de Malmquist com alguns trabalhos realizados anteriormente sobre este tema.

O Capítulo 6 traz as conclusões do presente trabalho, bem como sugestões para desenvolvimento de futuros estudos.

CAPÍTULO 2

A MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS NOS PORTOS BRASILEIROS

2.1 Como chegam as informações de movimentação de cargas na ANTAQ

A ANTAQ possui um rico histórico de dados. Ao longo do tempo, os anuários estatísticos publicados estão mais completos e com diversas informações sobre a movimentação de cargas no país.

Durante muitos anos as informações chegaram à agência reguladora através de planilhas elaboradas pelos portos organizados e terminais de uso privativo. A partir de 2008 todas as instalações começaram a migrar para o Sistema Desempenho Portuário –SDP, onde passaram a informar, mensalmente, os dados de todas as atracções que ocorreram em seus berços. A obrigatoriedade de se informar à ANTAQ através do SDP aconteceu com a edição das normas 1.309/2009 (norma referente aos portos organizados) e 1.660/2010 (norma referente aos terminais de uso privativo – TUP). Desde 2010 a integração dos portos e TUPs é de 100%, ou seja, desde então todos os dados são informados eletronicamente ao SDP.

Com as informações chegando à ANTAQ eletronicamente, atracção por atracção, pôde-se construir uma série de indicadores quase que em tempo real, que antes não era possível. É o caso, por exemplo, dos tempos médios de operação, das taxas de ocupação dos berços, da consignação média dos navios e da prancha média de operação dos terminais, entre diversos outros.

Devido à alta precisão de informação que existe desde 2010, esse período foi escolhido para iniciar a análise de eficiência dos terminais de contêineres, estendendo-se durante os dois anos seguintes. E mais ainda: graças a esse modelo de recebimento de informações, as análises hoje feitas poderão ser replicadas no futuro, com uma série histórica muito maior e de altíssima confiabilidade.

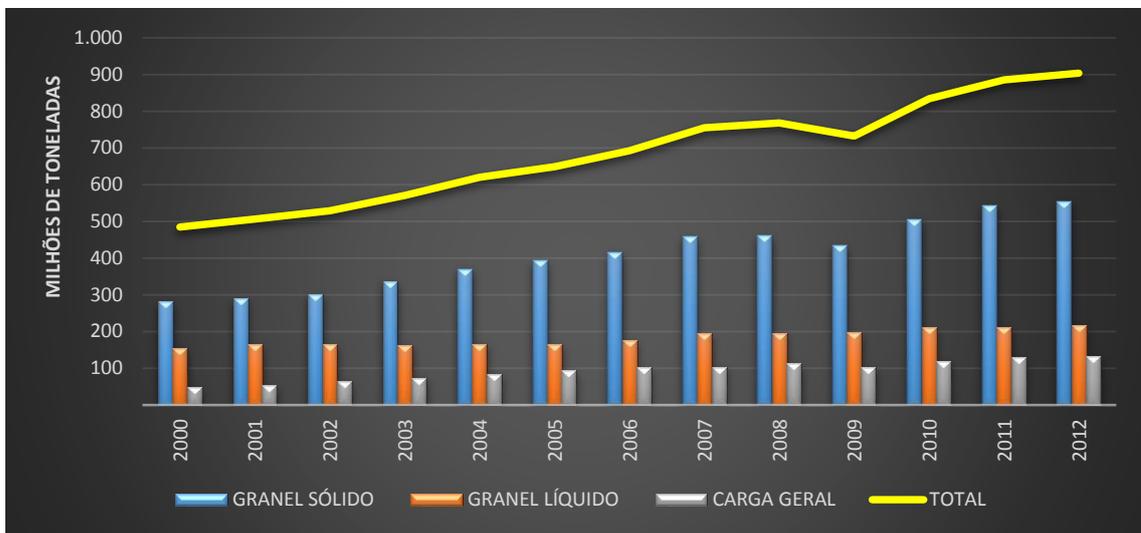
2.2 Evolução da movimentação de cargas

O histórico de movimentações portuárias mostra que em todos os anos houve crescimento no país, exceto no ano de 2008 devido ao período da crise financeira mundial. Pode-se observar

no gráfico 2.1 que em 2000 o país movimentou em seus portos 484.660.640 toneladas, enquanto que em 2012 esse valor chegou a 903.765.474 toneladas, o que significa um aumento de 86,5% em 12 anos da série histórica.

Fundamentalmente o Brasil é um grande movimentador de granéis sólidos. Em média, 60% das mercadorias que passam pelos portos são dessa natureza. Todavia é na carga geral onde se encontra o maior valor agregado das mercadorias. Isso porque é nessa categoria que encontra-se a movimentação de contêineres.

Gráfico 2.1: Evolução da movimentação de cargas nos portos do Brasil

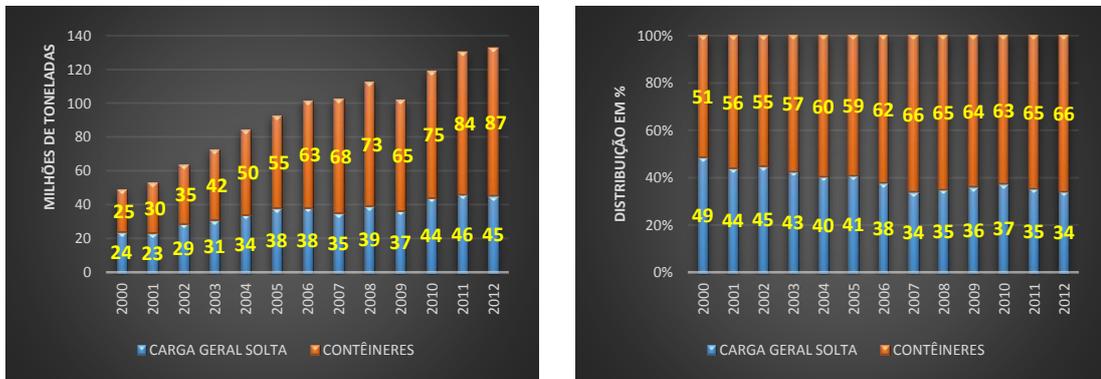


O gráfico 2.2 (esquerda) separa a movimentação de contêineres e de carga geral solta, e neste ponto pode-se verificar um importante fato: não há uma perspectiva de redução de movimentação de carga containerizada. Mesmo com o ponto de queda localizado no ano de 2009, o segmento de carga containerizada vem apresentando uma média de crescimento de 11% ao ano nestes últimos 12 anos. Esse fato vai subsidiar a orientação do modelo a ser escolhido posteriormente para se analisar a eficiência dos terminais de contêineres no capítulo 4.

Quando analisa-se a movimentação de carga geral decompondo-a em carga geral solta e carga geral containerizada, percebe-se a importância desse último. O gráfico 2.2 (direita) mostra que em 2000 os contêineres correspondiam a 51,3% da carga geral e em 2012 essa proporção subiu para 65,9%. Além dos investimentos que foram feitos nos terminais arrendados

especializados nesse tipo de operação, nos últimos anos vem surgindo terminais privativos que atuam nessa linha também.

Gráfico 2.2: Relação histórica entre carga containerizada e carga geral solta



Os portos organizados são os maiores movimentadores de contêineres do país. Geralmente, em cada um dos portos, existe pelo menos um terminal arrendado especializado nesse tipo de operação. Dois portos em particular possuem, em princípio, concorrência intraportos: o porto de Santos, que possui quatro terminais arrendados na área do porto organizado (Santos Brasil, Libra Terminais, Ecoporto e Rodrimar) e ainda o cais público, onde diversos operadores realizam essa atividade também, e o porto do Rio de Janeiro, que possui em sua área dois terminais arrendados (Libra Terminais e MultiTerminais). Somente pelo porto de Santos passaram em média 37,6% dos contêineres de todo o Brasil no período de 2010 a 2012. Outros portos com expressiva movimentação foram Rio Grande (7,7%), Paranaguá (7,4%) e Rio de Janeiro (5,8%).

A participação dos TUPs na movimentação de contêineres vem aumentando gradativamente à medida que estes vão sendo autorizados pela ANTAQ. Em 2010 os portos organizados movimentaram 63.776.712 toneladas (85,5%) enquanto que os TUPs movimentaram 10.854.055 toneladas (14,5%). Em 2012 esses números foram de 71.648.795 toneladas (82%) para os portos organizados e 15.688.423 toneladas para os TUPs (18%). Note que em apenas dois anos a movimentação nesses últimos aumentou em 44%. Os dados parciais de 2013 confirmam essa tendência de crescimento na movimentação de contêineres por parte dos terminais privativos. Além do aumento na movimentação dos terminais existentes, novos estão sendo autorizados, entre os quais podem ser citados a Portonave/SC, o Porto Itapoá/SC e a Embraport/SP (iniciando suas operações em 2013).

Toda a movimentação de contêineres de 2010 a 2012 dos portos e terminais selecionados para o desenvolvimento dessa dissertação estão relacionadas no Anexo 1, bem como todos os indicadores que serão utilizados posteriormente.

A título de informação sobre o panorama geral de movimentação de cargas no país nesse período, a tabela 2.1 fornece os dados consolidados.

Tabela 2.1: Movimentação de cargas no Brasil de 2010 a 2012

GRUPO/ ANO	2010		2011			2012		
	ton.	%	ton.	%	VAR.	ton.	%	VAR.
1. NATUREZA DA CARGA								
GRANEL SÓLIDO	504.765.400	61,0	543.108.088	61,3	7,6	554.228.160	61,3	2,05
GRANEL LÍQUIDO	210.371.071	25,2	212.302.167	24,0	0,9	217.153.054	24,0	2,28
CARGA GERAL	118.799.265	14,3	130.149.953	14,7	9,6	132.384.253	14,6	1,72
TOTAL	833.935.735	100,0	885.560.212	100,0	6,2	903.765.466	100,0	2,06
2. TIPO DE NAVEGAÇÃO								
LONGO CURSO	616.089.467	73,9	657.677.377	74,3	6,8	670.253.686	74,2	1,91
CABOTAGEM	185.822.683	22,3	193.392.534	21,8	4,1	201.015.906	22,2	3,94
NAVEGAÇÃO INTERIOR	28.382.718	3,4	31.638.112	3,6	11,5	29.894.862	3,3	-5,51
APOIO MARÍTIMO	2.112.012	0,3	1.520.588	0,2	-28,0	1.528.237	0,2	0,50
APOIO PORTUÁRIO	1.528.855	0,2	1.331.601	0,2	-12,9	1.072.775	0,1	-19,44
TOTAL	833.935.735	100,0	885.560.212	100,0	6,2	903.765.466	100,0	2,06
3. INSTALAÇÕES								
PORTOS ORGANIZADOS	288.776.612	34,6	309.007.269	34,9	7,0	316.188.398	35,0	2,32
TERMINAIS DE USO PRIVATIVO	545.159.123	65,4	576.552.943	65,1	5,8	587.577.068	65,0	1,91
TOTAL	833.935.735	100,0	885.560.212	100,0	6,2	903.765.466	100,0	2,06
4. SENTIDO								
EMBARQUE	562.063.531	67,4	593.177.264	67,0	5,5	606.059.915	67,1	2,17
DESEMBARQUE	271.872.204	32,6	292.382.948	33,0	7,5	297.705.551	32,9	1,82
TOTAL	833.935.735	100,0	885.560.212	100,0	6,2	903.765.466	100,0	2,06

Fonte: Anuários Estatísticos e Sistema de Informações Gerenciais da ANTAQ.

CAPÍTULO 3

REFERENCIAL TEÓRICO:

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA E ÍNDICE DE MALMQUIST

3.1 Introdução à análise envoltória da dados

Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) é uma ferramenta que utiliza técnicas como a programação matemática com o objetivo de se medir eficiência de unidades produtivas. Esse método de programação permite lidar com um grande número de variáveis e relações (restrições).

As unidades que serão comparadas são denominadas **Unidade de Tomada de Decisão** (*Decision Making Units – DMU*). Para que se possam analisar tais unidades, elas devem possuir as mesmas **entradas** (denominadas *inputs*) e produzir as mesmas **saídas** (denominadas *outputs*).

De acordo com Cooper *et al* (2006), define-se produtividade como sendo a razão existente entre aquilo que foi produzido (*outputs*) e aquilo que foi gasto para produzir (*inputs*). Desta forma, a produtividade de uma DMU pode ser definida como a razão entre a saída (*output*) e a entrada (*input*), quando se tratar de valores únicos nos dois casos. Quando existem várias entradas e várias saídas em análise, um índice de produtividade é definido como sendo a combinação linear das saídas dividida pela combinação linear das entradas.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{outputs}}{\text{inputs}} \quad (3.1)$$

A metodologia DEA permite identificar uma fronteira de eficiência onde o nível máximo de *outputs* obtido a partir de um determinado nível de *inputs* define a fronteira da tecnologia de produção. Uma pontuação, então, é fornecida para cada DMU analisada em relação a essa fronteira, permitindo assim que se realize uma avaliação de eficiência relativa de cada uma dessas unidades em relação a esta fronteira. **Eficiência** é um conceito relativo, que compara aquilo que foi produzido com os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

Segundo a definição de *Pareto-Koopmans* (Charnes *et al*, 1985), pode-se afirmar que uma DMU é eficiente quando não for mais possível:

- Aumentar a quantidade de qualquer um dos produtos por ela gerado sem simultaneamente ser necessário reduzir a quantidade de outro produto gerado ou aumentar as quantidades dos insumos consumidos;
- Diminuir a quantidade de qualquer um dos insumos por ela consumido sem simultaneamente ser necessário aumentar a quantidade de outro insumo consumido ou diminuir as quantidades de produtos gerados.

Uma DMU tem sua eficiência avaliada calculando-se a razão entre a produtividade desta e a maior produtividade observada no conjunto das DMUs sob análise. A análise não precisa ter necessariamente uma única entrada e uma única saída, A metodologia pode levar em consideração múltiplas entradas e saídas, ou seja uma decisão gerencial será orientada por um único indicador, todavia elaborado a partir de várias abordagens de desempenho diferentes.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Produtividade atual da unidade}}{\text{Produtividade máxima que pode ser alcançada}} \quad (3.2)$$

Uma vez que a eficiência do conjunto de DMUs esteja definida, as unidades mais eficientes podem balizar aquelas consideradas ineficientes, sendo utilizadas como referências ou benchmarks no estabelecimento de metas para se alcançar a eficiência.

Charnes *et al* (1978) definiram um modelo de programação linear para medir a eficiência relativa de unidades organizacionais semelhantes, cada uma das quais utilizando múltiplos recursos (*inputs*) para a produção de múltiplos resultados (*outputs*).

Considere um conjunto de n DMUs, $j = 1, \dots, n$, em que cada uma transforma m *inputs*, x_{ij} , $i = 1, \dots, m$ para produzir s *outputs*, y_{rj} , $r = 1, \dots, s$. Para cada DMU j_0 avaliada, é possível obter uma medida de eficiência relativa e_{j_0} que é dada por:

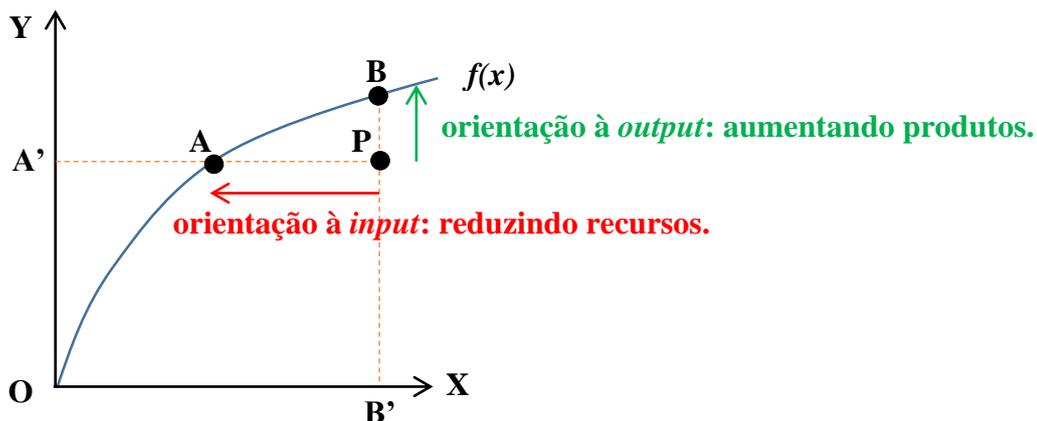
$$e_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0}} \quad (3.3)$$

onde x representa as entradas, v representa os pesos de cada entrada, y representa as saídas e u representa os pesos de cada saída. Esses pesos são geralmente arbitrados, e essa é uma característica muito importante da metodologia DEA, uma vez que essa escolha permite que as DMUs analisadas posicionem-se da melhor maneira possível na análise de eficiência. Contudo essa escolha deve ser feita com muita cautela, uma vez que fatores mais importantes podem ser subestimados enquanto que outros menos importantes podem ser superestimados.

De acordo com Lins e Meza (2000), uma das grandes vantagens da DEA é que com a análise da relação de entradas/saídas envolvidas na avaliação de desempenho das DMUs tem-se a indicação dos fatores que interferem positivamente ou negativamente sobre a eficiência dessas. Sendo assim, o uso de DEA indica quais DMUs que podem ser utilizadas como *benchmarking* na melhoria do desempenho daquelas unidades menos eficientes. Esses *benchmarks* indicam o que precisa ser modificado nas entradas e saídas e como melhorá-las para transformar unidades ineficientes em unidades eficientes.

Uma questão importante nesse ponto é como transformar uma DMU ineficiente em uma DMU eficiente? Observando as explicações anteriores, pode-se reduzir a quantidade de recursos utilizados, mantendo-se constante a quantidade de produtos produzidos (orientação a *inputs*) ou ainda manter a quantidade de recursos utilizados e aumentar a quantidade de produto produzido (orientação a *outputs*).

Figura 3.1: Diferença entre orientação a *input* e orientação a *output*.



A figura 3.1 ilustra o que foi dito. Seja a fronteira de eficiência definida por $f(x)$. A DMU ineficiente **P** precisa caminhar até o ponto **A** se quiser tornar-se eficiente reduzindo recursos. No entanto, se preferir aumentar os produtos, tem que caminhar até o ponto **B**. No primeiro caso, a eficiência é definida pelo quociente $\frac{A'A}{A'P}$ e no segundo caso, é dada por $\frac{B'B}{B'P}$.

Existem quatro modelos básicos de DEA, e para utilizá-los corretamente deve-se fazer uma opção: usar um modelo orientado a *outputs*, no qual se obtém o máximo nível de *outputs* mantendo os *inputs* fixos, ou um modelo orientado a *inputs*, que visa a obter um menor uso de

inputs dado o nível dos *outputs*. Esses modelos, citados abaixo, estão descritos em FRIED *et al.* (1993) e CHARNES *et al.* (1994) e serão detalhados posteriormente.

- CCR – orientação a *input* ou a *output*.
- BCC – orientação a *input* ou a *output*.

3.2 A modelagem DEA

3.2.1 O modelo CCR

O primeiro modelo matemático de análise envoltória de dados foi apresentado originalmente por Charnes *et al.* (1978) e foi denominado CCR em referência aos autores idealizadores (Charnes, Cooper e Rhodes). Este modelo trabalha com retornos constantes de escala, isto é, qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas (*outputs*). Na literatura também é encontrado como modelo CRS (*constant returns to scale*).

Considere-se um conjunto de n DMUs, $j = 1, \dots, n$, em que cada uma transforma m *inputs*, x_{ij} , $i = 1, \dots, m$ para produzir s *outputs*, y_{rj} , $r = 1, \dots, s$. Para cada DMU j_0 avaliada, a eficiência relativa é definida pela razão entre a soma ponderada de todos os *outputs* e a soma ponderada de todos os *inputs*. Com isso, reduz-se os múltiplos *inputs* e *outputs* respectivamente a um único valor virtual de *input* e de *output*, através da atribuição de pesos para cada *input* i , v_i , $i = 1, \dots, m$ e a cada *output* r , u_r , $r = 1, \dots, s$.

O **modelo orientado para *inputs*** para avaliar a eficiência da DMU j_0 é definido em (3.4) enquanto que o **modelo orientado para *outputs*** é definido por (3.5):

$$\max \left\{ e_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0}} \left| \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, v_i \geq 0, u_r \geq 0 \right. \right\} \quad (3.4)$$

$$\min \left\{ h_{j_0} = \frac{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0}}{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0}} \left| \frac{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj}} \geq 1, v_i \geq 0, u_r \geq 0 \right. \right\} \quad (3.5)$$

Onde tem-se 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 unidades em avaliação.
 s → número de *outputs*.
 m → número de *inputs*.

Na perspectiva do modelo orientado a *inputs*, a eficiência é definida como o menor fator possível com que todos os *inputs* da DMU avaliada podem ser reduzidos proporcionalmente sem diminuir o nível de nenhum *output* e corresponde a $e_{j_0}^*$. A modelagem DEA permite então que sejam identificadas DMUs eficientes e ineficientes. As DMUs eficientes são consideradas *benchmarks* e definem a fronteira de eficiência. Para as DMUs ineficientes, a técnica permite definir objetivos de melhoria de desempenho para cada *input* e *output*.

Já na perspectiva do modelo orientado a *outputs*, a eficiência relativa da DMU j_0 é dada por $e_{j_0}^* = 1/h_{j_0}^*$, ou seja, o inverso do fator máximo que todos os *outputs* podem ser aumentados sem que haja aumento no nível de qualquer um dos *inputs* utilizados.

Para que seja possível utilizar-se de técnicas de programação linear, é necessário converter os problemas fracionários descritos em (3.6) e (3.7) para uma modelagem linear. Os modelos lineares orientado a *input* (2.5) e orientado a *output* (2.6) são descritos a seguir:

CCR primal orientado a <i>inputs</i>	CCR primal orientado a <i>outputs</i>
$\max \left\{ e_{j_0} = \sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0} \right\}$ $\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} = 1,$ $\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} \leq 0$ $v_i \geq 0, u_r \geq 0 \}$	$\min \left\{ h_{j_0} = \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} \right\}$ $\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0} = 1,$ $\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} \leq 0,$ $v_i \geq 0, u_r \geq 0 \}$
(3.6)	(3.7)

Onde tem-se 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 unidades em avaliação.
 s → número de *outputs*.
 m → número de *inputs*.

As formulações descritas em (3.6) e (3.7) são conhecidas como modelo dos multiplicadores ou modelo primal. Esse modelo fornece informações sobre os pesos atribuídos a cada variável de cada DMU, bem como a pontuação de eficiências, permitindo assim a identificação das unidades eficientes (que servem como referência) e ineficientes.

A fim de se utilizar um menor número de restrições que a forma primal, podem ser utilizados os mesmos modelos na forma dual, conhecido como modelo de envelope. Além disso, este outro modelo evidencia a proporção das DMUs de referência em relação às projeções das DMUs ineficientes na fronteira. Uma outra contribuição importante do modelo dual é o fato de se poder indicar metas para as DMUs ineficientes.

Os modelos duais (ou modelos de envelope) orientados a *inputs* (3.8) e a *outputs* (3.9) são descritos a seguir.

CCR dual orientado a <i>inputs</i>	CCR dual orientado a <i>outputs</i>
$\min \left\{ e_{j_0} = \theta_0 \mid \right.$ $\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j - \theta_0 \cdot x_{ij_0} \leq 0,$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j \geq y_{rj_0},$ $\lambda_j \geq 0, \theta_0 \geq 0 \left. \right\}$	$\max \left\{ h_{j_0} = \eta_0 \mid \right.$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j - \eta_0 \cdot y_{rj_0} \geq 0,$ $\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j \leq x_{ij_0},$ $\lambda_j \geq 0, \eta_0 \geq 0 \left. \right\}$
(3.8)	(3.9)

Onde tem-se 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 unidades em avaliação.

Os objetivos da DMU em estudo j_0 para tornar-se eficiente são determinadas pelo par de equações (3.10). Note que o valor λ_j^* dessas equações mede a contribuição da DMU j de referência para a definição dos objetivos da DMU j_0 .

$$x_{ij_0} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* \cdot x_{ij} \qquad y_{rj_0} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* \cdot y_{rj} \qquad (3.10)$$

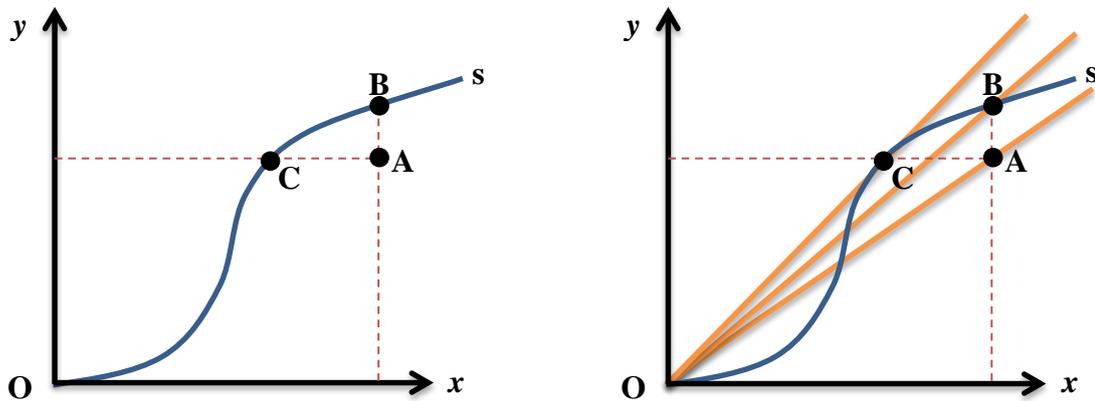
3.2.2 O modelo BCC

A segunda opção de modelagem em análise envoltória de dados foi desenvolvida por Banker *et al.* (1984), onde passou-se a considerar um retorno variável de escala. Este modelo é denominado BCC, em homenagem a seus idealizadores (Banker, Charnes e Cooper) e também é conhecido como VRS (*variable returns to scale*). Nesse modelo, é possível estimar a eficiência técnica pura e a eficiência técnica de escala, onde pode-se detectar ganhos de escala crescentes, decrescentes ou constantes.

Quando a fronteira de eficiência é caracterizada por rendimentos variáveis de escala, isso significa que nem todos os pontos localizados nessa fronteira são igualmente produtivos. Enquanto a eficiência é um conceito relativo, a produtividade é um conceito absoluto.

A figura 3.2 ilustra a análise de três DMUs (**A**, **B** e **C**) que possuem uma única entrada x e uma única saída y . A curva s é chamada de *Fronteira de Eficiência*, e indica a quantidade máxima que foi produzida para cada nível de recurso. A região abaixo da curva é chamada de *conjunto viável de produção*. Uma DMU que estiver localizada na curva s é considerada uma DMU eficiente (neste exemplo, seriam as DMUs **B** e **C**), enquanto que se ela estiver localizada abaixo da curva é dita como uma DMU ineficiente (neste exemplo, a DMU **A**).

Figura 3.2: Diferença entre eficiência e produtividade

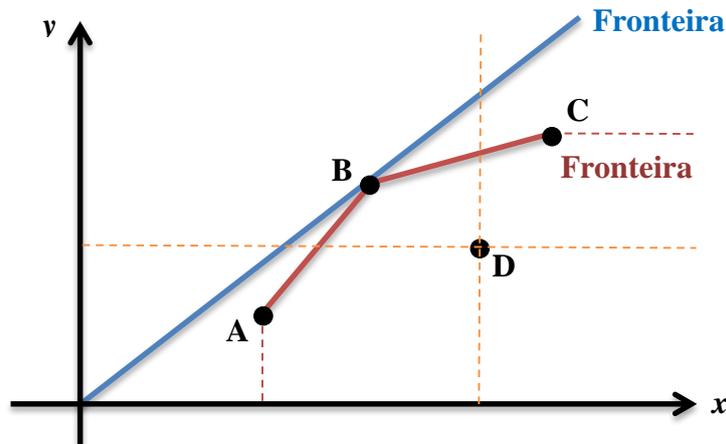


Pode-se ver a produtividade de cada DMU acima, traçando-se semirretas partindo da origem **O** e passando por cada uma das DMUs, conforme a figura à direita. A produtividade de uma DMU é dada pela inclinação dessa semirreta. Aqui fica notória a diferença de produtividade e eficiência.

Observe que as DMUs **B** e **C** são eficientes, afinal estão localizadas na fronteira de eficiência. Entretanto a DMU **C** é a mais *produtiva*. Essa conclusão é obtida comparando-se os coeficientes angulares das semirretas **OC** e **OB**. A DMU mais produtiva é aquela cuja reta que a liga a origem tem o maior coeficiente angular possível. A DMU **A** é simultaneamente uma unidade *não produtiva* e *não eficiente*.

A figura 3.3 abaixo mostra a diferença entre as fronteiras de eficiências quando existem rendimentos constantes de escala (modelo CCR) e rendimentos variáveis de escala (modelo BCC), considerando quatro DMUs (**A**, **B**, **C** e **D**) que possuem uma única entrada **x** e uma única saída **y**.

Figura 3.3: Diferença entre as fronteiras CCR e BCC



Pode-se perceber na figura acima que as DMUs **A** e **C** estão em uma dimensão menos produtiva que **B**, sendo portanto ineficientes em termo de escala. A intersecção das fronteiras CCR e BCC identificam aquelas que possuem rendimentos constantes em termos de escala, que é o caso da DMU **B**. A DMU **D** é ineficiente tanto na metodologia CCR quanto na BCC.

A medida de eficiência dada com relação à fronteira BCC é definida como **eficiência técnica pura**. Já a medida de eficiência dada com relação à fronteira CCR é definida como **eficiência técnica**. A capacidade de se obter a máxima produtividade é dada pela **eficiência de escala** e é definida pela razão entre a eficiência técnica e a eficiência técnica pura.

$$\text{Eficiência de escala} = \frac{\text{Eficiência técnica}}{\text{Eficiência técnica pura}} \quad (3.11)$$

Considere um conjunto de n DMUs, $j = 1, \dots, n$, em que cada uma transforma m inputs, x_{ij} , $i = 1, \dots, m$ para produzir s outputs, y_{rj} , $r = 1, \dots, s$. Para cada DMU j_0 avaliada, a eficiência relativa é definida pela razão entre a soma ponderada de todos os outputs e a soma ponderada de todos os inputs. Com isso reduz-se os múltiplos inputs e outputs respectivamente a um único valor virtual de input e de output, através da atribuição de pesos para cada input i , v_i , $i = 1, \dots, m$ e a cada output r , u_r , $r = 1, \dots, s$.

O modelo primal (ou modelo dos multiplicadores) **orientado para inputs** para avaliar a eficiência da DMU j_0 é definido em (3.12) enquanto que o modelo **orientado para outputs** é definido por (3.13):

BCC primal orientado a *inputs*

$$\begin{aligned} \max \left\{ e_{j_0} = \sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0} + \omega \right. \\ \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} = 1, \\ \sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} + \omega \leq 0, \\ \left. \omega \in \mathbb{R}, v_i \geq 0, u_r \geq 0 \right\} \end{aligned} \quad (3.12)$$

BCC primal orientado a *outputs*

$$\begin{aligned} \min \left\{ h_{j_0} = \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij_0} + \varpi \right. \\ \sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj_0} = 1, \\ -\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} + \varpi \geq 0, \\ \left. \varpi \in \mathbb{R}, v_i \geq 0, u_r \geq 0 \right\} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$\omega > 0 \Rightarrow$ retorno crescente

$\varpi < 0 \Rightarrow$ retorno crescente

$\omega = 0 \Rightarrow$ retorno constante

$\varpi = 0 \Rightarrow$ retorno constante

$\omega < 0 \Rightarrow$ retorno decrescente

$\varpi > 0 \Rightarrow$ retorno decrescente

Onde tem-se que:

- e_{j_0} \rightarrow eficiência da DMU em análise j_0 .
- h_{j_0} \rightarrow inverso da eficiência da DMU em análise j_0 .
- ω e ϖ \rightarrow coeficientes de retorno de escala.
- u_r \rightarrow peso do *output* r .
- v_i \rightarrow peso do *input* i .
- x_{ij} \rightarrow quantidade do *input* i da DMU j .
- y_{rj} \rightarrow quantidade do *output* r da DMU j .
- x_{ij_0} \rightarrow quantidade do *input* i da DMU em análise j_0 .
- y_{rj_0} \rightarrow quantidade do *output* r da DMU em análise j_0 .
- n \rightarrow número de unidades em avaliação.
- s \rightarrow número de *outputs*.
- m \rightarrow número de *inputs*.

Assim como ocorre na modelagem CCR, também na modelagem BCC pode-se utilizar os mesmos modelos na forma dual (modelo de envelope), e assim diminuir o número de restrições em relação à forma primal.

Os modelos duais (ou modelos de envelope) orientados a *inputs* (3.14) e a *outputs* (3.15) são descritos a seguir.

BCC dual orientado a *inputs*

$$\begin{aligned} & \min \left\{ e_{j_0} = \theta_0 \mid \right. \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j - \theta_0 \cdot x_{ij_0} \leq 0, \\ & y_{rj_0} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\ & \left. \lambda_j \geq 0, \theta_0 \geq 0 \right\} \end{aligned} \quad (3.14)$$

BCC dual orientado a *outputs*

$$\begin{aligned} & \max \left\{ h_{j_0} = \eta_0 \mid \right. \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j - \eta_0 \cdot y_{rj_0} \geq 0, \\ & x_{ij_0} \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \left. \lambda_j \geq 0, \eta_0 \geq 0 \right\} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Onde tem-se 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 unidades em avaliação.

3.3 Métodos para seleção de variáveis

O uso da análise envoltória de dados pode encontrar algumas barreiras para sua plena utilização. Um problema comum em DEA é o fato de se apresentar uma baixa capacidade de ordenação de DMUs à medida que muitas variáveis (*inputs* e *outputs*) sejam consideradas para estudo e poucas DMUs estejam disponíveis na amostra. Para contornar esse problema deve-se restringir o número de variáveis em questão.

Senra *et al* (2007) descreveu em um artigo alguns métodos para auxiliar na decisão de seleção de variáveis. Destaca-se para utilização nessa dissertação: o método I-O Stepwise exaustivo completo, o método multicritério combinatório inicial e o método multicritério combinatório por cenários. A descrição desses métodos é explicada posteriormente.

3.3.1 Método I-O *Stepwise* exaustivo completo

Norman e Stoker (1991) aliaram a análise de correlação simples à análise envoltória de dados através de um procedimento iterativo que não só identifica *inputs* e *outputs* relevantes, como também calcula medidas de ineficiência nos planos observados. Lins e Moreira (1999) refinaram esse método, dando origem à família de métodos I-O *Stepwise*.

O método em questão supõe que a seleção de variáveis deve ser feita com base na maior relação causal entre *inputs* e *outputs*. Essa ideia faz com que a eficiência média aumente à medida que variáveis são incluídas na análise. Variáveis que pouco contribuem para esse aumento são retiradas do modelo.

A sequência de passos nesse método é descrita a seguir:

- 1) Cálculo da eficiência de cada DMU utilizando-se todos os pares *input / output* possíveis com uma modelagem DEA.
- 2) Determinação da eficiência média de todas as DMUs analisadas em cada par *input / output*.
- 3) Escolha o par *input / output* que gerou a maior eficiência média.
- 4) Acréscimo de uma variável ao par escolhido no passo (3) e roda-se o modelo novamente, agora com uma variável a mais.
- 5) Determinação da eficiência média de todas as DMUs analisadas em cada uma das situações encontradas no passo (4).
- 6) Escolha a variável que gerou a maior eficiência média quando foi inserida.
- 7) Caso o aumento tenha sido significativo (e o grau de significância é definido pelo decisor), repetição do processo a partir do passo (4). Do contrário, retira-se a última variável incluída e encerra-se o processo.

3.3.2 Método multicritério combinatório inicial

A ideia desse método é fazer com que haja a menor interferência possível por parte do decisor, uma vez que esse não é capaz ou não deseja emitir uma opinião sobre as variáveis que devem obrigatoriamente estar presentes no modelo. Esse é um modelo onde o decisor escolhe inicialmente o par *input / output* que deverá fazer parte da análise. Segundo Senra *et al* (2007), a proposição combina uma boa relação causal e uma boa discriminação entre as DMUs estudadas.

O ajuste à fronteira calculado através da eficiência média que se obtém pelo método I-O Stepwise representa a medida da relação causal. O poder discriminatório do método surge quando se observa o número de DMUs que estejam na fronteira de eficiência (quanto mais DMUs estiverem na fronteira, menor é o poder discriminatório em DEA).

A sequência de passos nesse método é descrita a seguir:

- 1) Cálculo da eficiência de cada DMU utilizando-se todos os pares *input / output* possíveis com uma modelagem DEA.
- 2) Normaliza-se todas as eficiências médias obtidas, atribuindo-se o valor 1 à maior eficiência média observada e o valor 0 à menor. Esse valor será chamado de S_{EF} .
- 3) Em cada caso, contabiliza-se quantas DMUs localizam-se na fronteira de eficiência. Normaliza-se esse dado, atribuindo-se o valor 1 ao caso onde existir o maior número de DMUs na fronteira de eficiência e o valor 0 ao menor caso. Esse valor será chamado de S_{DIS} .
- 4) Faz-se uma média ponderada entre S_{EF} e S_{DIS} . Define-se então S com sendo $S = \alpha \cdot S_{EF} + (1 - \alpha) \cdot S_{DIS}$, com $0 \leq \alpha \leq 1$.
- 5) Escolhe-se a situação que apresente o maior valor de S , uma vez que essa alternativa é a que melhor concilia uma boa relação causal (S_{EF}) e uma boa discriminação (S_{DIS}).
- 6) Verifica-se a relação entre número de DMUs e número de variáveis (*inputs* e *outputs*). O decisor arbitra aqui uma certa condição que atenda às suas expectativas de estudo. O ponto de parada do método será o momento em que o número de DMUs não excede X vezes o número de variáveis. Enquanto esse número de DMUs

não atingir a condição descrita, reinicia-se o processo desde o passo (2), incluindo uma nova variável.

3.3.3 Método multicritério combinatório por cenários

Esse método é o que exige menos do decisor, uma vez que não contém um ponto de parada específico e todos os passos são bem objetivos. Todas as variáveis são utilizadas (inicia-se o processo com um par *input / output* e vão sendo acrescentadas as demais variáveis até que sejam todas utilizadas) para que ao final seja feita a comparação entre os diferentes cenários (diferindo no número de variáveis utilizadas).

Trata-se de um método dividido em duas fases. A primeira fase é a mesma descrita no método multicritério combinatório inicial, com a diferença de não se considerar um ponto de parada, ou seja, o processo de inclusão de novas variáveis é repetido até que todas elas tenham sido incluídas.

A sequência dessa fase é descrita a seguir:

- 1) Cálculo da eficiência de cada DMU utilizando-se todos os pares *input / output* possíveis com uma modelagem DEA.
- 2) Normaliza-se todas as eficiências médias obtidas, atribuindo-se o valor 1 à maior eficiência média observada e o valor 0 à menor. Esse valor será chamado de S_{EF} .
- 3) Em cada caso, contabiliza-se quantas DMUs localizam-se na fronteira de eficiência. Normaliza-se esse dado, atribuindo-se o valor 1 ao caso onde existir o maior número de DMUs na fronteira de eficiência e o valor 0 ao menor caso. Esse valor será chamado de S_{DIS} .
- 4) Neste modelo, como o intuito é minimizar as opiniões do decisor, faz-se uma média aritmética entre S_{EF} e S_{DIS} para se definir o valor de S .
- 5) Escolhe-se a situação que apresente o maior valor de S , uma vez que essa alternativa é a que melhor concilia uma boa relação causal (S_{EF}) e uma boa discriminação (S_{DIS}).
- 6) Reinicia-se o processo desde o passo (2), incluindo uma nova variável, encerrando o algoritmo no momento em que todas as variáveis sejam inclusas.

Na segunda fase procura-se fazer uma comparação entre todos os cenários possíveis. A sequência dessa fase é descrita a seguir:

- 1) Calcula-se a eficiência média para cada um dos cenários selecionados na fase anterior (o melhor caso com duas variáveis, com três variáveis, etc.).
- 2) Em cada um dos cenários calcula-se S_{EF} e S_{DIS} .
- 3) Calcula-se a média aritmética entre S_{EF} e S_{DIS} , obtendo assim o valor de S para cada cenário estudado.
- 4) Finalmente, escolhe-se o melhor cenário que será aquele que apresente o maior valor de S possível.

3.4 Cálculo do Índice de Malmquist

Uma outra maneira de se avaliar DMUs é através do Índice de Malmquist, que é uma modelagem que permite a avaliação intertemporal, permitindo que se detecte evoluções (ou regressões) de produtividade quando comparados dois períodos de tempo distintos. A modelagem DEA apresentada anteriormente apresenta resultados pontuais.

Outra vantagem do índice de Malmquist é a possibilidade de avaliação de DMUs que, quando analisadas sob a ótica de uma modelagem DEA básica (seja CCR ou BCC), apresentam eficiência relativa em 100%. Nesta metodologia, é possível saber se houve melhora no índice de mudança de tecnologia, e não somente na mudança de eficiência.

Em 1953 Malmquist introduziu o conceito de função distância para análises econômicas. O índice de Malmquist foi criado por Caves *et al.* (1982), com o objetivo de se estudar a avaliação da produtividade de cada DMU relativa ao conjunto total de DMUs que estão sendo estudadas entre dois períodos temporais. O índice de produtividade DEA-Malmquist foi desenvolvido por Fare *et al.* (1992), e ficou denominado como Fator de Produtividade Total (FTP). Ferreira e Gomes (2009) mostram o cálculo do **índice de Malmquist** (*IM*). Nessa dissertação dar-se-á destaque ao índice de Malmquist considerando a decomposição desse índice em índice de mudança de eficiência (*catch-up effect*) e índice de mudança de tecnologia (*frontier-shift effect*).

Considere um conjunto de n DMUs, $j = 1, \dots, n$, em que cada uma transforma m *inputs*, x_{ij} , $i = 1, \dots, m$ para produzir s *outputs*, y_{rj} , $r = 1, \dots, s$. Considere ainda a análise feita em dois períodos distintos t e $t+1$.

A tecnologia pode ser definida como:

$$S = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \mid \mathbf{x} \text{ pode produzir } \mathbf{y}\} \quad (3.16)$$

A tecnologia de produção definida por S pode ser escrita usando a orientação que se desejar (*inputs* ou *outputs*). Pode-se escrever então que:

$$L(\mathbf{y}) = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \text{ pode produzir } \mathbf{y}\} = \{\mathbf{x} \mid (\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in S\}, \quad (3.17)$$

se a orientação for para *inputs*

$$P(\mathbf{x}) = \{\mathbf{y} \mid \mathbf{x} \text{ pode produzir } \mathbf{y}\} = \{\mathbf{y} \mid (\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in S\}, \quad (3.18)$$

se a orientação for para *outputs*.

Tem-se que considerar agora a função distância. O conceito da função distância é semelhante ao de fronteira de produção. Essa função permite descrever a tecnologia com múltiplos *inputs* e *outputs*, e dependendo da orientação que se deseja possui diferentes significados.

$$D_{j_0}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \max\{\rho \mid (\mathbf{x} / \rho) \in L(\mathbf{y})\}, \quad (3.19)$$

se a orientação for para *inputs*

$$D_{j_0}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \min\{\delta \mid (\mathbf{y} / \delta) \in P(\mathbf{x})\}, \quad (3.20)$$

se a orientação for para *outputs*.

Coelli *et al* (1997) detalha como é feito o cálculo do índice de Malmquist, também conhecido como índice de mudança de produtividade.

$$IM = \left(\frac{D_{j_0}^t(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) \cdot D_{j_0}^t(x_v^t, y_v^t)}{\sqrt{D_{j_0}^{t+1}(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) \cdot D_{j_0}^{t+1}(x_v^t, y_v^t)}} \right) \cdot \left(\frac{D_{j_0}^{t+1}(x_v^{t+1}, y_v^{t+1})}{D_{j_0}^t(x_v^t, y_v^t)} \right) = IT \cdot IE \quad (3.21)$$

Onde tem-se que:

- IM → Índice de Malmquist.
 IT → Índice de mudança de tecnologia.

- IE → Índice de mudança de eficiência técnica.
 D^t → Função distância relativa à fronteira do período t .
 D^{t+1} → Função distância relativa à fronteira do período $t+1$.
 y_v^t → quantidade do *output* virtual da DMU j_0 no período t .
 x_v^t → quantidade do *input* virtual da DMU j_0 no período t .
 y_v^{t+1} → quantidade do *output* virtual da DMU j_0 no período $t+1$.
 x_v^{t+1} → quantidade do *input* virtual da DMU j_0 no período $t+1$.
 $D_{j_0}^t(x_v^t, y_v^t)$ → distância da DMU j_0 no período t relativa à fronteira do período t .
 $D_{j_0}^t(x_v^{t+1}, y_v^{t+1})$ → distância da DMU j_0 no período $t+1$ relativa à fronteira do período t .
 $D_{j_0}^{t+1}(x_v^t, y_v^t)$ → distância da DMU j_0 no período t relativa à fronteira do período $t+1$.
 $D_{j_0}^{t+1}(x_v^{t+1}, y_v^{t+1})$ → distância da DMU j_0 no período $t+1$ relativa à fronteira do período $t+1$.

A interpretação dos índices deve ser feita observando o sentido da análise. O quadro 3.1 mostra o significado de cada índice em todos os casos possíveis.

Quadro 3.1: Decomposição do índice de *Malmquist* e seus significados

Índice	Período de tempo crescente:	Período de tempo decrescente:	Significado
	$t \rightarrow t+1$	$t+1 \rightarrow t$	
<i>Malmquist (IM)</i>	$IM > 1$	$IM < 1$	Melhora da produtividade
	$IM = 1$	$IM = 1$	Manutenção da produtividade
	$IM < 1$	$IM > 1$	Piora da produtividade
Mudança de Tecnologia (<i>IT</i>)	$IT > 1$	$IT < 1$	Melhora da tecnologia
	$IT = 1$	$IT = 1$	Manutenção da tecnologia
	$IT < 1$	$IT > 1$	Piora da tecnologia
Mudança de Eficiência (<i>IE</i>)	$IE > 1$	$IE < 1$	Melhora da eficiência
	$IE = 1$	$IE = 1$	Manutenção da eficiência
	$IE < 1$	$IE > 1$	Piora da eficiência

As distâncias citadas na equação 3.21 podem ser calculadas através de DEA. A formulação é descrita a seguir, para a orientação a *output* (equações 3.22 a 3.25) e para a orientação a *input* (equações 3.26 a 3.29).

$$\begin{aligned}
& D_{j_0}^t(x_v^t, y_v^t) \\
& \text{Orientação a} \\
& \quad \textit{input}
\end{aligned}
\quad
\min \left\{ e_{j_0} = \theta \mid \begin{aligned} & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \cdot \lambda_j - \theta \cdot x_{i_0}^t \leq 0, \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \cdot \lambda_j \geq y_{r_0}^t, \\ & \lambda_j \geq 0, \theta \geq 0 \end{aligned} \right\}
\tag{3.22}$$

$$\begin{aligned}
& D_{j_0}^t(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) \\
& \text{Orientação a} \\
& \quad \textit{input}
\end{aligned}
\quad
\min \left\{ e_{j_0} = \theta \mid \begin{aligned} & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \cdot \lambda_j - \theta \cdot x_{i_0}^{t+1} \leq 0, \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \cdot \lambda_j \geq y_{r_0}^{t+1}, \\ & \lambda_j \geq 0, \theta \geq 0 \end{aligned} \right\}
\tag{3.23}$$

$$\begin{aligned}
& D_{j_0}^{t+1}(x_v^t, y_v^t) \\
& \text{Orientação a} \\
& \quad \textit{input}
\end{aligned}
\quad
\min \left\{ e_{j_0} = \theta \mid \begin{aligned} & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \cdot \lambda_j - \theta \cdot x_{i_0}^t \leq 0, \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \cdot \lambda_j \geq y_{r_0}^t, \\ & \lambda_j \geq 0, \theta \geq 0 \end{aligned} \right\}
\tag{3.24}$$

$$\begin{aligned}
& D_{j_0}^{t+1}(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) \\
& \text{Orientação a} \\
& \quad \textit{input}
\end{aligned}
\quad
\min \left\{ e_{j_0} = \theta \mid \begin{aligned} & \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \cdot \lambda_j - \theta \cdot x_{i_0}^{t+1} \leq 0, \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \cdot \lambda_j \geq y_{r_0}^{t+1}, \\ & \lambda_j \geq 0, \theta \geq 0 \end{aligned} \right\}
\tag{3.25}$$

$$\begin{aligned}
& D_{j_0}^t(x_v^t, y_v^t) \\
& \text{Orientação a} \\
& \quad \textit{output}
\end{aligned}
\quad
\max \left\{ e_{j_0} = \eta \mid \begin{aligned} & \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{i_0}^t \geq 0, \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \cdot \lambda_j \leq x_{i_0}^t, \\ & \lambda_j \geq 0, \eta \geq 0 \end{aligned} \right\}
\tag{3.26}$$

$$\begin{aligned}
D_{j_0}^t(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) & \max \left\{ e_{j_0} = \eta \mid \right. \\
& \sum_{j=1}^n y_{rj}^t \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{i_0}^{t+1} \geq 0, \\
\text{Orientação a} & \\
\text{output} & \left. \sum_{j=1}^n x_{ij}^t \cdot \lambda_j \leq x_{i_0}^{t+1}, \right. \\
& \left. \lambda_j \geq 0, \eta \geq 0 \right\}
\end{aligned} \tag{3.27}$$

$$\begin{aligned}
D_{j_0}^{t+1}(x_v^t, y_v^t) & \max \left\{ e_{j_0} = \eta \mid \right. \\
& \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{i_0}^{t+1} \geq 0, \\
\text{Orientação a} & \\
\text{output} & \left. \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \cdot \lambda_j \leq x_{i_0}^{t+1}, \right. \\
& \left. \lambda_j \geq 0, \eta \geq 0 \right\}
\end{aligned} \tag{3.28}$$

$$\begin{aligned}
D_{j_0}^{t+1}(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) & \max \left\{ e_{j_0} = \eta \mid \right. \\
& \sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{i_0}^{t+1} \geq 0, \\
\text{Orientação a} & \\
\text{output} & \left. \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \cdot \lambda_j \leq x_{i_0}^{t+1}, \right. \\
& \left. \lambda_j \geq 0, \eta \geq 0 \right\}
\end{aligned} \tag{3.29}$$

Onde tem-se que:

- θ → Eficiência.
- η → Inverso da eficiência.
- D^t → Função distância relativa à fronteira do período t .
- D^{t+1} → Função distância relativa à fronteira do período $t+1$.
- x_{ij}^t → quantidade do *input* i da DMU j no período t .
- y_{rj}^t → quantidade do *output* r da DMU j no período t .
- $x_{i_0}^t$ → quantidade do *input* i da DMU em análise j_0 no período t .
- $y_{r_0}^t$ → quantidade do *output* r da DMU em análise j_0 no período t .
- x_{ij}^{t+1} → quantidade do *input* i da DMU j no período $t+1$.
- y_{rj}^{t+1} → quantidade do *output* r da DMU j no período $t+1$.
- $x_{i_0}^{t+1}$ → quantidade do *input* i da DMU em análise j_0 no período $t+1$.
- $y_{r_0}^{t+1}$ → quantidade do *output* r da DMU em análise j_0 no período $t+1$.
- $D_{j_0}^t(x_v^t, y_v^t)$ → distância da DMU j_0 no período t relativa à fronteira do período t .

$D_{j_0}^t(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) \rightarrow$ distância da DMU j_0 no período $t+1$ relativa à fronteira do período t .

$D_{j_0}^{t+1}(x_v^t, y_v^t) \rightarrow$ distância da DMU j_0 no período t relativa à fronteira do período $t+1$.

$D_{j_0}^{t+1}(x_v^{t+1}, y_v^{t+1}) \rightarrow$ distância da DMU j_0 no período $t+1$ relativa à fronteira do período $t+1$.

Em resumo, as etapas para o cálculo do Índice de Malmquist são resumidas da seguinte forma:

- 1) Cálculo da distância da DMU j_0 no período t relativa à fronteira do período t .
- 2) Cálculo da distância da DMU j_0 no período $t+1$ relativa à fronteira do período t .
- 3) Cálculo da distância da DMU j_0 no período t relativa à fronteira do período $t+1$.
- 4) Cálculo da distância da DMU j_0 no período $t+1$ relativa à fronteira do período $t+1$.
- 5) Cálculo do **índice de eficiência técnica e índice de mudança de tecnologia**.
- 6) Cálculo do índice de Malmquist.

CAPÍTULO 4

MEDINDO EFICIÊNCIA NOS TERMINAIS DE CONTÊINERES ATRAVÉS DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA E DO ÍNDICE DE MALMQUIST

4.1 Introdução

O Anuário Estatístico dos Portos publicado pela ANTAQ, bem como o Sistema de Informações Gerenciais – SIG, sistema este que divulga todas as informações recebidas pelo órgão que são transmitidas pelos portos organizados e terminais de uso privativo são as fontes de todos os dados utilizados no desenvolvimento desse estudo.

Em 2012 a movimentação de cargas no país superou a marca de 900 milhões de toneladas. A movimentação de contêineres foi de 87.274.908 de toneladas, ou seja 9,65% do total. Estes contêineres passaram por 22 portos organizados e 6 terminais de uso privativo.

Apesar do Brasil ser notoriamente conhecido pela movimentação de granéis sólidos (61,32% da movimentação total de mercadorias), a carga containerizada é de fundamental importância para o país, por se tratar do transporte de mercadorias de alto valor agregado. Geralmente são manuseados em terminais construídos exclusivamente para tal finalidade, e que utilizam equipamentos de alta tecnologia e mão de obra especializada.

Este trabalho tem por objetivo a avaliação da eficiência relativa nesses terminais. Interessa sobretudo saber o quão um terminal é mais ou menos eficiente em comparação com outro, o que pode ser considerado como ineficiência e ainda como se evolui essa eficiência ao longo do tempo. Para responder a todas essas questões, far-se-á uso da metodologia denominada Análise Envoltória de Dados e do índice de Malmquist.

4.2 Seleção das DMUs

As DMUs foram selecionadas tendo como base a movimentação de contêineres ocorrida em 2012. Uma vez selecionadas, essas unidades foram estudadas também nos anos de 2011 e 2010.

A tabela 4.1 mostra a movimentação de contêineres em todos os terminais do país. Pode-se observar que os 16 primeiros em destaque são responsáveis por 98,5% dessa movimentação.

Em razão disso, esse foi o universo escolhido inicialmente para análise de eficiência portuária através do DEA.

Tabela 4.1: Movimentação de contêineres no Brasil em 2012

Porto/Terminal	Movimentação (t)	Porto/Terminal	Movimentação (t)
Santos	31.271.803	Fortaleza	707.034
Paranaguá	6.572.802	Vila do Conde	347.526
Rio Grande	6.170.582	Imbituba	263.025
Portonave*	5.920.600	Natal	250.960
Rio de Janeiro	5.649.619	Belém	224.310
Suape	4.545.651	Itaqui	90.465
Itaguaí (Sepetiba)	4.155.727	Santarém	43.692
Itajaí	3.913.188	Recife	36.536
Vitoria	3.168.455	São Sebastião	4.688
Itapoá*	3.131.798	Porto Velho	2.822
Chibatão*	2.996.859	Forno	1.711
Salvador	2.812.603	Macapá	500
Super Terminais*	2.025.026	Teporti*	106
Pecém*	1.614.035		
São Francisco do Sul	1.352.785	TOTAL GERAL	87.274.908

Fonte: Sistema Desempenho Portuário – ANTAQ, em 1º de julho de 2013.

* Terminais de Uso Privativo.

Entretanto, os dados não podem ser trabalhados diretamente como estão colocados. No Porto de Santos existe quatro terminais arrendados especializados na movimentação de contêineres: Santos Brasil, Libra Terminais, Ecoporto Santos (antigo Tecondi) e Rodrimar, além da movimentação que ocorre no cais público mas que não pertence a um terminal especificamente. No cais público do porto de Santos vários operadores portuários realizam movimentação, e por essa razão não é possível analisar a eficiência da movimentação de contêineres, comparando com os demais terminais arrendados. Isso ocorre também no Porto do Rio de Janeiro, onde dentro da área do porto organizado existem dois terminais de contêineres: Libra Terminais e MultiTerminais. Esses terminais concorrem entre eles na região de seu respectivo porto organizado. Faz-se necessário então considerá-los como unidades autônomas, e com isso o número de DMUs passa então para 20, descritas na tabela 4.2.

Tabela 4.2: DMUs selecionadas para análise

DMU	Porto/Terminal	Movimentação (t)
DMU-01	Porto de Santos (SP) - Terminal Santos Brasil	16.631.118
DMU-02	Porto de Paranaguá (PR) - TCP	6.495.634
DMU-03	Porto do Rio Grande (RS) - TECON Rio Grande	6.168.145
DMU-04	Terminal de Uso Privativo Portonave (SC)	5.920.600
DMU-05	Porto de Santos (SP) - Libra Terminais (T-35 + T-37)	6.657.242
DMU-06	Porto de Itaguaí (RJ) - TECON Sepetiba	4.155.727
DMU-07	Porto de Itajaí (SC) - APM Terminais (inclui o cais comercial)	3.913.188
DMU-08	Porto do Rio de Janeiro (RJ) - Multiterminais	3.593.002
DMU-09	Porto de Suape (PE) - TECON Suape	4.545.651
DMU-10	Terminal de Uso Privativo de Itapoá (SC)*	3.131.798
DMU-11	Porto de Vitória (ES) - TVV	3.111.759
DMU-12	Terminal de Uso Privativo de Chibatão (AM)	2.996.859
DMU-13	Porto de Salvador (BA) - TECON Salvador (inclui o cais público)	2.812.603
DMU-14	Porto de Santos (SP) - Ecoporto Santos (TECONDI)	2.686.425
DMU-15	Porto de Santos (SP) - Rodrimar	2.055.115
DMU-16	Terminal de Uso Privativo Super Terminais (AM)**	2.025.026
DMU-17	Porto do Rio de Janeiro (RJ) - Libra Terminais	1.972.376
DMU-18	Terminal de Uso Privativo do Pecém (CE)	1.614.035
DMU-19	Porto de São Francisco do Sul (SC) - TESC (inclui o cais público)	1.352.785
DMU-20	Porto de Fortaleza (CE) - Cais Público	707.034

* O Tup Itapoá não foi considerado no estudo, pois começou a operar apenas em junho/2011.

** O Tup Super Terminais pode ser desconsiderado em função da inconsistência de seus dados em 2010 e 2011.

OBS1: Em geral os valores desta tabela não são os mesmos da tabela 4.1 em razão de movimentações residuais que ocorreram no porto.

OBS2: Foi desconsiderada a movimentação no cais público do Porto de Santos, em razão dessa ter sido realizada por diversos operadores portuários distintos.

Finalizada a análise dos dados referentes a 2012, passou-se a estudar os dados referentes a 2011 e 2010. Percebeu-se então um problema com dois terminais que tinham sido selecionados previamente. O Tup Porto Itapoá só começou a operar em julho de 2011. Como um dos objetivos desse estudo é acompanhar a evolução da eficiência portuária ao longo do período de 2010 a 2012, foi necessária a exclusão desse terminal da análise. O Tup Super Terminais também apresentou problemas nos anos anteriores a 2012. Ao consultar a base de dados, verificou-se inconsistências graves relativas ao tempo de operação e à taxa de

ocupação de seus berços. Caso esses indicadores venham a ser considerados na avaliação da eficiência, será necessário descartar os dados referentes a esse terminal.

Finalmente, tem-se então 18 ou 19 DMUs (esse número será determinado mais adiante) para trabalhar-se a análise de eficiência portuária através de DEA. Note-se que a movimentação desses terminais somam 82.546.122 de toneladas, equivalente a 94,5% de toda a movimentação de contêineres do país.

4.3 Seleção das variáveis.

Como visto no referencial teórico, diversos trabalhos foram feitos nessa área, indicando diferentes *inputs* e *outputs* para análise. Uma grande dificuldade que se tem é a disponibilidade de dados, que geralmente é conseguida com pesquisas feitas diretamente aos terminais portuários. Entretanto, nesse estudo que se pretende realizar existem duas vantagens que valem a pena ser citadas.

Primeiramente, tem-se disponível uma grande quantidade de variáveis que podem ser escolhidas para se analisar a eficiência dos terminais de contêineres. Além disso, tem-se também uma forte consistência acerca dos dados disponíveis. Essa realidade é possível em razão da existência do Sistema Desempenho Portuário – SDP, sistema esse que recebe as informações de todas as atracções de todos os terminais do país, e que é atualizado diariamente. A ANTAQ é a gestora desses dados, e os portos e terminais têm obrigação legal de enviar mensalmente essas informações eletronicamente para a agência reguladora.

Para se determinar quais variáveis serão utilizadas, toda a análise foi feita baseada em uma modelagem DEA-CCR orientada a *output* utilizando os valores obtidos para o ano de 2012. Essa escolha se dá devido ao fato de que o que se deseja com a análise de eficiência nesse estudo é **aumentar a quantidade de contêineres movimentados ano após ano**, a não ser que se perceba em algum momento que exista uma saturação de movimentação. Baseado nas estatísticas da ANTAQ, sabe-se que isso não ocorre, uma vez que o histórico de movimentação de contêineres no país é crescente ao longo dos anos (com exceção do período da crise de 2008, que impactou a movimentação de 2009, único ponto onde ocorreu um decréscimo). Perceba que não faz muito sentido utilizar-se de modelos DEA orientados à minimização de *inputs*. Não se deseja diminuir área de um terminal, ou reduzir a prancha média deste, ou ainda diminuir o número de atracções. Essas observações valem para todos

os indicadores candidatos a *inputs*, o que nos leva a direcionar o estudo para a maximização de *output*.

Mesmo assim, uma vez determinados quais serão os indicadores utilizados, far-se-á um estudo utilizando as duas modelagens CCR e BCC, que será descrito futuramente.

4.3.1. Indicadores pré-selecionados

4.3.1.1. *Output*

Foi escolhido para esse estudo como *output* a **quantidade de contêineres** movimentada. No meio portuário todos os portos e terminais exibem suas estatísticas de recordes de movimentação. O grande objetivo de um terminal é movimentar carga, pois quanto mais carga for movimentada, maior é o lucro desses terminais. Devido a essa importância, nada mais natural que adotar esse indicador como *output*, e mais, como metas finalísticas para aumento de eficiência portuária.

A próxima questão é: quais são os outros indicadores que possuem influência direta ou indireta na quantidade movimentada de contêineres? Qual seria o grau de importância de cada uma dessas variáveis? Quais seriam as melhores variáveis a serem consideradas como *input*?

4.3.1.2 *Inputs*

Um indicador muito utilizado em trabalhos anteriores – Rios e Maçada (2006), Wanke *et al* (2008), Fernandes (2010a) – e que também poderá ser explorado aqui, é a **área do terminal**. Essa variável traduz a capacidade de armazenamento de contêineres, bem como maior agilidade para manuseio de cargas. Terminais que possuem grandes áreas disponíveis conseguem dinamizar melhor sua logística interna, o que influi positivamente em sua produtividade, melhorando assim sua eficiência. Terminais menores possuem maior dificuldade de mobilização interna, e isso diminui sua produtividade. Dificilmente esse dado muda em um ano, pois alterações de áreas, sejam em terminais arrendados ou em terminais de uso privativo precedem de projetos, análises econômico-financeiras e autorizações do órgão

regulador, o que demanda bastante tempo. Por essas razões, tais informações não são recolhidas sistemicamente pela ANTAQ.

Outro indicador muito utilizado é o **comprimento total de cais**. Berços de atracação maiores permitem a operação de navios maiores. Quando se operam navios maiores, a produtividade do terminal aumenta. Além disso, berços maiores permitem a instalação de maior número de equipamentos (portêineres e MHCs por exemplo), bem como permitem maior mobilidade destes, o que também influencia positivamente na produtividade. Esse indicador também tem uma baixa variação com o passar do tempo e não é coletado eletronicamente pela agência reguladora, sendo esta informada diretamente pelos terminais.

Menos utilizado, mas ainda presente em alguns trabalhos sobre o tema, a **profundidade do terminal ou do canal de acesso** também pode ser uma variável pertinente. Nos últimos anos o governo federal investiu muito nas dragagens dos principais portos do país. Atualmente esse investimento já mostra resultados, pois navios de maior porte conseguem atracar onde antes era impossível. Profundidades maiores permitem a atracação de navios maiores e mais carregados, além do que a capacidade de um navio aumenta significativamente quando este pode calar mais. Portanto, quanto maior a profundidade, maior a possibilidade de se aumentar a quantidade de contêineres movimentada.

Coletado mensalmente pela ANTAQ, um indicador muito bem relacionado com a quantidade de contêineres movimentada em um terminal é o **número de atracações**. Obviamente, quanto mais navios atracarem em um terminal, maior será sua movimentação de contêineres. Neste estudo, foi considerado para cada terminal o somatório do número de atracações ocorridas no período de um ano. Uma grande importância desse indicador é que ele mostra quando um terminal possui uma hinterlândia¹ significativa.

Outro dado coletado mensalmente pela ANTAQ, a **consignação média** (*Consig*) do terminal, que também influencia fortemente no *output* que está em estudo. Esse indicador é definido como sendo o número de contêineres movimentados por atracação em um período de tempo específico.

¹ Hinterlândia é a área de influência de uma cidade portuária que, por concentrar significativa atividade econômica, pode engendrar uma rede urbana, constituída por centros urbanos menores (Milton Santos, 2008).

$$Consig_a = \frac{\sum_{i=1}^n ncont_{ai}}{n_a} \quad (4.1)$$

onde $Consig_a$ é a consignação média do terminal no período a , $ncont_{ai}$ é o número de contêineres movimentados na atracação i do período a e n_a é o número total de atracções ocorridas no terminal no período a .

A consignação média dos navios que atracam em um terminal pode ser obtida para várias unidades temporais. É possível obter-se a consignação média mensal, bimestral, semestral ou anual de um terminal. Neste estudo foi considerado o valor anual desse indicador. Terminais que apresentam um alto valor para a consignação média são aqueles ditos como fim de linha, como por exemplo os terminais de uso privativos de Chibatão e Super Terminais. A combinação da consignação média e o número de atracções influenciam significativamente a quantidade de contêineres movimentada no terminal.

Um primeiro indicador de produtividade que pode ser considerado é o **tempo médio de operação** ($TMop$). Esse dado é definido como sendo o tempo decorrido para realizar toda a operação de carga e descarga de uma atracção.

$$TMop_a = \frac{\sum_{i=1}^n Top_{ai}}{n_a} \quad (4.2)$$

onde $TMop_a$ é o tempo médio de operação do terminal no período a , Top_{ai} é o tempo total de operação da atracção i do período a e n_a é o número total de atracções ocorridas no terminal no período a .

Note-se que esse é um indicador, a princípio, inversamente proporcional à quantidade movimentada de contêineres de um terminal, e isso deve ser levado em consideração na análise. Quanto mais tempo gasto na operação de um navio, menos atracções podem ser realizadas no restante do período em análise. O contrário também é verdadeiro, ou seja, quanto menos tempo gasto na operação de um navio, em tese, mais navios podem atracar no restante do período em análise. Esse indicador é calculado através das informações recebidas

mensalmente pela ANTAQ através do SDP. Similarmente como a consignação média, o tempo médio de operação é calculado segundo um referencial temporal. Neste estudo, foi considerado para análise o inverso do tempo médio de operação anual por terminal.

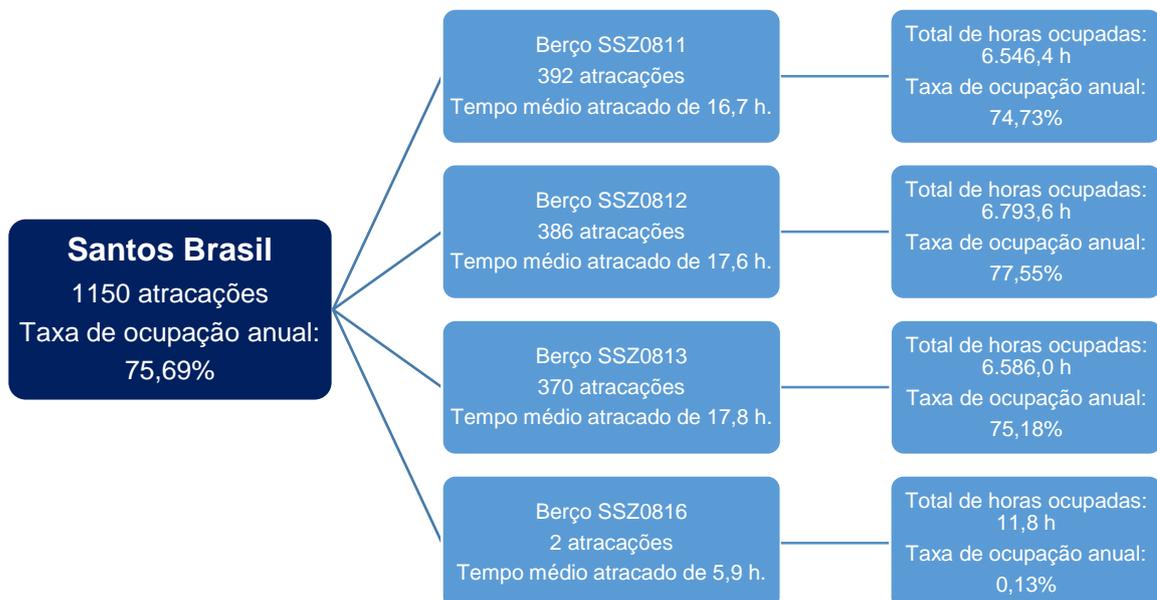
Outro indicador calculado através de dados enviados à agência reguladora é a **taxa de ocupação dos berços** (*Tberços*). A ANTAQ possui os dados de todas as atracções ocorridas a nível de berço, o que torna possível o cálculo sistêmico desse indicador.

Com todas essas informações pode-se calcular a taxa de ocupação dos berços de um terminal em uma unidade de tempo específica:

$$Tberços_a = \frac{\sum_{i=1}^n natrac_{ai} \cdot \overline{ta_{ai}}}{\sum_{i=1}^n nat_{ai}} \quad (4.3)$$

onde $Tberços_a$ é a taxa de ocupação dos berços do terminal no período a , $natrac_{ai}$ é o número de atracções ocorridas no berço i no período a , $\overline{ta_{ai}}$ é o tempo médio atracado por navio no berço i no período a e n é o número de berços do terminal. Nesse estudo foi considerado o período de tempo anual e os passos do cálculo da taxa de ocupação dos berços de um terminal é ilustrado na figura 4.1, considerando como exemplo o terminal arrendado Santos Brasil localizado na área do porto de Santos.

Figura 4.1: Cálculo da taxa de ocupação dos berços do terminal Santos Brasil



Note que pode-se falar de atracções realizadas em um ano no porto de Santos, por exemplo. Dentro do porto pode-se separar essas atracções para cada um dos terminais arrendados (Santos Brasil, Libra Terminais, Rodrimar, Ecoporto Santos) e o cais público (conhecido como Margem Direita); pode-se ainda especificar aonde foi feita a atracção em cada um desses terminais (em qual berço) e contabilizar a soma de atracções nesse nível, por exemplo, na Santos Brasil existem quatro berços de atracção (SSZ0811, SSZ0812, SSZ0813 e SSZ0816).

O último indicador utilizado nessa análise, mas com certeza extremamente importante quando o assunto é produtividade, é a prancha média de operação. A prancha média é definida como a quantidade de contêineres movimentados por hora, e é calculado conforme formulação a seguir.

$$Prancha_a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ncont_{ai}}{Top_{ai}}}{n_a} \quad (4.4)$$

onde $Prancha_a$ é a prancha média do terminal no período a , $ncont_{ai}$ é o número de contêineres movimentados na atracção i do período a , Top_{ai} é o tempo total de operação da atracção i do período a e n_a é o número total de atracções ocorridas no terminal no período a .

Este indicador talvez seja um dos mais importantes nesse tema, uma vez que diversas inferências podem ser atribuídas a ele. Considere, por exemplo, portêineres e MHCs, equipamentos relevantes para movimentação de contêineres na beira do cais. O primeiro consegue atingir a movimentação de até 45 contêineres/hora enquanto que o segundo consegue alcançar até 30 contêineres/hora. O número de equipamentos instalados nos terminais especializados implicam diretamente na capacidade total de operação do terminal. Terminais não especializados geralmente possuem restrição para atracção de navios, pois só podem receber aqueles que possuem equipamentos de bordo, que possuem uma produtividade muito baixa.

Combinado com os equipamentos de beira de cais, existem ainda outros equipamentos que influenciam diretamente na capacidade de movimentação de um terminal. Não basta apenas retirar ou colocar contêineres nos navios. Os contêineres precisam estar disponíveis rapidamente (no caso de embarque) ou então precisam desocupar a área operacional (no caso

de desembarque) o mais rápido possível. Para estes fins existem equipamentos diversos, dentre os quais: *RTG, reach stackers, top-lifts, straddle carriers, runners, empty container handlers e terminal tractors*.

Outra inferência que pode ser feita através do indicador prancha média é o número de colaboradores especializados do terminal. É de se esperar que para operar todos os equipamentos citados anteriormente seja necessária uma mão de obra mínima.

Esta é a grande importância do indicador prancha média. A ANTAQ não obtém regularmente dados acerca dos tipos de equipamentos, quantidades e mão de obra disponível nos terminais. Mas visitando estes, percebe-se a relação desses dados com a prancha média. Por fim, este indicador é calculado regularmente pela agência através dos dados das atracções informados pelos portos organizados e terminais de uso privativo.

4.3.2 Análise e seleção final das variáveis

Passa-se agora à escolha final de quais indicadores deverão ser considerados para a análise de eficiência segundo o modelo de envoltória de dados. Para escolha dessas variáveis, serão utilizados os indicadores físicos e operacionais referentes ao ano de 2012. Estes dados podem ser consultados no Apêndice desta dissertação (tabelas A.2 e A.5).

Para o *output* não há o que se discutir, uma vez que foi assumido diretamente que esse seria a quantidade de contêineres movimentada no terminal (QUANT).

Para os *inputs* deve-se escolher um certo número de variáveis (ou mesmo a totalidade delas) dentre: área do terminal (AREA), comprimento total de cais (CCAIS), profundidade do terminal ou do canal de acesso (PROF), quantidade de atracções (NATRAC), consignação média (CONSIG), inverso do tempo médio de operação (ITOP), taxa de ocupação dos berços (BERÇOS) e prancha média (PRANCHA).

4.3.2.1. Método I-O Stepwise Exaustivo Completo

Seguindo os passos descritos no referencial teórico, calculou-se primeiramente a eficiência média (EFF) das DMUs de todos os pares *input/output* possíveis para que fosse determinado um par inicial para o processo.

Tabela 4.3: Cálculo de eficiência para todo par *input/output* segundo DEA-CCR em 2012.

Input	NATRAC	CONSIG	CCAIS	AREA	ITOP	BERÇOS	PRANCHA	PROF
Output	QUANT							
Unit name	Score							
DMU-01	89,78	100,00	100,00	58,92	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-02	63,52	68,21	77,51	47,18	54,60	69,48	83,64	48,23
DMU-03	54,40	68,36	41,71	34,40	42,90	63,31	76,51	40,76
DMU-04	68,34	54,71	41,88	50,02	56,30	71,18	80,08	44,48
DMU-05	77,90	51,22	39,87	100,00	63,21	66,30	73,23	44,14
DMU-06	50,46	42,94	26,97	19,57	25,14	34,86	48,32	20,73
DMU-07	80,81	28,14	22,24	45,81	27,80	39,07	33,06	26,25
DMU-08	41,17	44,47	34,61	35,73	19,27	28,27	45,36	19,26
DMU-09	40,85	61,98	39,66	33,50	31,20	42,65	72,17	22,92
DMU-10	41,58	40,02	26,62	54,64	8,90	18,97	20,90	14,23
DMU-11	68,43	27,49	42,15	62,93	28,33	31,31	40,18	20,59
DMU-12	100,00	16,00	35,86	12,85	62,31	31,16	60,51	13,69
DMU-13	37,49	42,98	24,77	49,28	15,76	21,69	40,98	14,68
DMU-14	75,93	20,78	22,94	27,93	28,46	25,89	35,51	17,41
DMU-15	35,69	29,85	27,47	56,53	16,59	18,67	43,83	12,29
DMU-16	82,11	12,89	29,66	36,79	32,69	17,74	38,69	9,06
DMU-17	32,01	38,08	22,58	32,42	9,64	17,31	29,30	12,85
DMU-18	31,77	29,13	13,31	8,79	12,40	10,54	37,98	8,43
DMU-19	33,14	22,99	7,52	39,22	5,90	53,59	16,84	8,24
DMU-20	30,96	13,31	3,71	10,60	5,61	9,97	17,56	5,62
EFF	56,82	40,68	34,05	40,85	32,35	38,60	49,73	25,19

A tabela 4.3 mostra que o par *input/output* que apresentou a maior eficiência média foi o número de atracções e a quantidade de contêineres respectivamente.

Isso nos leva ao passo seguinte do cálculo, agora acrescentando um novo indicador e verificando se o aumento da eficiência média é significativo ou não. O próximo passo é mostrado na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Cálculo de eficiência incluindo um terceiro indicador (obrigatório NATRAC) segundo DEA-CCR em 2012.

Inputs	NATRAC CONSIG	NATRAC CCAIS	NATRAC AREA	NATRAC ITOP	NATRAC BERÇOS	NATRAC PRANCHA	NATRAC PROF
Output	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
Unit name	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score
DMU-01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-02	70,70	77,51	73,06	67,85	70,70	83,64	70,23
DMU-03	68,36	59,15	60,53	57,19	63,31	76,51	60,13

DMU-04	75,56	72,90	78,31	72,44	75,89	80,08	75,27
DMU-05	85,63	81,58	100,00	82,33	85,60	84,65	85,45
DMU-06	55,88	53,09	55,15	50,46	54,72	54,99	54,71
DMU-07	86,39	80,81	89,63	80,81	85,11	80,81	86,66
DMU-08	45,83	45,07	49,10	41,17	44,63	45,79	44,87
DMU-09	61,98	45,14	48,10	42,67	45,37	72,17	44,80
DMU-10	46,18	44,53	54,64	41,58	43,54	41,58	44,71
DMU-11	73,73	73,03	82,63	68,43	71,67	68,43	73,07
DMU-12	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-13	42,98	40,26	49,28	37,49	40,12	41,65	40,56
DMU-14	79,89	75,93	82,78	75,93	76,87	75,93	79,67
DMU-15	39,50	38,82	56,53	35,69	37,86	43,83	38,38
DMU-16	82,11	82,20	90,29	82,11	82,11	82,11	82,11
DMU-17	38,08	34,57	39,41	32,01	34,06	34,63	34,67
DMU-18	35,24	32,48	34,09	31,77	32,05	37,98	33,67
DMU-19	36,49	33,14	41,98	33,14	53,59	33,14	34,97
DMU-20	33,46	30,96	33,63	30,96	31,10	30,96	31,87
EFF	62,90	60,06	65,96	58,20	61,41	63,44	60,79

A tabela 4.4 mostra que o acréscimo do indicador área do terminal apresentou a maior eficiência média nessa rodada, sendo portanto o segundo *input* escolhido.

O aumento da eficiência média obtido com dois *inputs* e um *output* em relação ao primeiro cálculo feito foi de 16,1%, sendo um resultado muito significativo. Isso nos leva ao passo seguinte do cálculo, agora acrescentando mais um indicador e verificando se o aumento da eficiência média continua significativo ou não. Este passo é mostrado na tabela 4.5.

Tabela 4.5: Cálculo de eficiência incluindo um quarto indicador (obrigatório NATRAC e AREA) segundo DEA-CCR, em 2012.

Inputs	NATRAC	NATRAC	NATRAC	NATRAC	NATRAC	NATRAC
	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA
Output	CONSIG	CCAIS	ITOP	BERÇOS	PRANCHA	PROF
Unit name	Score	Score	Score	Score	Score	Score
DMU-01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-02	76,09	79,51	73,06	74,97	83,64	73,06
DMU-03	68,36	60,53	60,53	63,31	76,51	60,53
DMU-04	78,31	78,31	78,31	78,31	82,27	78,31
DMU-05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-06	55,88	55,15	55,15	55,15	55,15	55,15
DMU-07	89,63	89,63	89,63	89,63	89,63	89,63
DMU-08	54,65	52,23	49,10	49,10	51,46	49,10

DMU-09	61,98	52,02	48,10	49,49	72,17	48,10
DMU-10	66,39	60,55	54,64	54,64	54,64	54,64
DMU-11	82,63	82,63	82,63	82,63	82,63	82,63
DMU-12	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-13	65,09	55,44	49,28	49,28	53,93	49,28
DMU-14	82,78	82,78	82,78	82,78	82,78	82,78
DMU-15	57,54	62,57	56,53	56,53	58,89	56,53
DMU-16	90,29	90,29	90,29	90,29	90,29	90,29
DMU-17	48,52	42,08	39,41	39,41	39,41	39,41
DMU-18	35,24	34,09	34,09	34,09	37,98	34,09
DMU-19	42,36	41,98	41,98	60,06	41,98	41,98
DMU-20	33,63	33,63	33,63	33,63	33,63	33,63
EFF	69,47	67,67	65,96	67,16	69,35	65,96

A tabela 4.5 mostra que o acréscimo do indicador consignação média apresentou a maior eficiência média nessa rodada, sendo portanto o terceiro *input* escolhido.

O aumento da eficiência média obtido com três *inputs* e um *output* em relação ao primeiro cálculo feito foi de 5,3%, sendo ainda um resultado significativo. Isso nos leva ao passo seguinte do cálculo, acrescentando mais um indicador e verificando se o aumento da eficiência média continua significativo ou não. Este passo é mostrado na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Cálculo de eficiência incluindo um quinto indicador (obrigatório NATRAC, AREA e CONSIG) segundo DEA-CCR, em 2012.

Inputs	NATRAC	NATRAC	NATRAC	NATRAC	NATRAC
	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA
Output	CONSIG	CONSIG	CONSIG	CONSIG	CONSIG
	CCAIS	ITOP	BERÇOS	PRANCHA	PROF
Unit name	Score	Score	Score	Score	Score
DMU-01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-02	79,51	76,09	76,09	83,64	76,09
DMU-03	68,36	68,36	68,36	76,51	68,36
DMU-04	78,31	78,31	78,31	82,27	78,31
DMU-05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-06	55,88	55,88	55,88	55,88	55,88
DMU-07	89,63	89,63	89,63	89,63	89,63
DMU-08	54,65	54,65	54,65	54,65	54,65
DMU-09	61,98	61,98	61,98	72,17	61,98
DMU-10	66,39	66,39	66,39	66,39	66,39
DMU-11	82,63	82,63	82,63	82,63	82,63
DMU-12	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

DMU-13	65,09	65,09	65,09	65,09	65,09
DMU-14	82,78	82,78	82,78	82,78	82,78
DMU-15	62,57	57,54	57,54	58,89	57,54
DMU-16	90,29	90,29	90,29	90,29	90,29
DMU-17	48,52	48,52	48,52	48,52	48,52
DMU-18	35,24	35,24	35,24	37,98	35,24
DMU-19	42,36	42,36	60,06	42,36	42,36
DMU-20	33,63	33,63	33,63	33,63	33,63
EFF	69,89	69,47	70,35	71,16	69,47

A tabela 4.6 mostra que o acréscimo do indicador prancha média apresentou a maior eficiência média nessa rodada, sendo portanto o quarto *input* escolhido.

O aumento da eficiência média obtido com quatro *inputs* e um *output* em relação ao primeiro cálculo feito foi de 2,4%, resultado este que pode ser considerado significativo. Isso nos leva ao passo seguinte do cálculo, acrescentando mais um indicador e verificando se o aumento da eficiência média continua significativo ou não. Este passo é mostrado na tabela 4.7.

Tabela 4.7: Cálculo de eficiência incluindo um sexto indicador (obrigatório NATRAC, AREA, CONSIG e PRANCHA) segundo DEA-CCR, em 2012.

Inputs	NATRAC	NATRAC	NATRAC	NATRAC
	AREA	AREA	AREA	AREA
Output	CONSIG	CONSIG	CONSIG	CONSIG
	PRANCHA	PRANCHA	PRANCHA	PRANCHA
Unit name	CCAIS	ITOP	BERÇOS	PROF
Score	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
DMU-01	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-02	83,64	83,64	83,64	83,64
DMU-03	76,51	76,51	76,51	76,51
DMU-04	82,27	82,27	82,27	82,27
DMU-05	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-06	55,88	55,88	55,88	55,88
DMU-07	89,63	89,63	89,63	89,63
DMU-08	54,65	54,65	54,65	54,65
DMU-09	72,17	72,17	72,17	72,17
DMU-10	66,39	66,39	66,39	66,39
DMU-11	82,63	82,63	82,63	82,63
DMU-12	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-13	65,09	65,09	65,09	65,09
DMU-14	82,78	82,78	82,78	82,78
DMU-15	62,57	58,89	58,89	58,89

DMU-16	90,29	90,29	90,29	90,29
DMU-17	48,52	48,52	48,52	48,52
DMU-18	37,98	37,98	37,98	37,98
DMU-19	42,36	42,36	60,06	42,36
DMU-20	33,63	33,63	33,63	33,63
EFF	71,35	71,16	72,05	71,16

A tabela 4.7 mostra que o acréscimo do indicador taxa de ocupação dos berços apresentou a maior eficiência média nessa rodada, sendo portanto o quinto *input* escolhido.

O aumento da eficiência média obtido com cinco *inputs* e um *output* em relação ao primeiro cálculo feito foi de 1,2%, resultado este que já não é tão significativo (inferior a 2%). Como o número de DMUs existente para análise não é muito grande, convém que não haja um número excessivo de variáveis.

Portanto, pelo Método I-O Stepwise exaustivo completo, os *inputs* selecionados são: **número de atracções, área do terminal, consignação média e prancha média.**

4.3.2.2. Método Multicritério Combinatório Inicial

Conforme descrito no referencial teórico, esse método não só mantém a relação causal, calculada pelas eficiências médias (método I-O *Stepwise*), mas também considera o efeito de discriminação das DMUs na fronteira de eficiência.

Além do cálculo das eficiências médias realizadas pelo método I-O *Stepwise*, foi feita também em cada passo a normalização tanto da escala de eficiência (SEF) quanto da medição relativa ao número de DMUs localizadas na fronteira de eficiência (SDIS). Para o cálculo do valor de S , definido como a soma ponderada dos valores SEF e SDIS, ou seja, $S = \alpha \cdot S_{EF} + (1 - \alpha) \cdot S_{DIS}$, considerou-se $\alpha = 0,5$, impondo assim o mesmo peso para cada resultado.

Os cálculos referentes às eficiências médias em cada passo descrito nesse método são feitos conforme descrito no método I-O *Stepwise*, e não serão explicitados nas tabelas que se seguem.

Tabela 4.8: Cálculo de S para todo par *input/output*, em 2012.

Input	NATRAC	CONSIG	CCAIS	AREA	ITOP	BERÇOS	PRANCHA	PROF
Output	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
EFF média	56,82	40,68	34,05	40,85	32,35	38,60	49,73	25,19
DMUs na fronteira	1	1	1	1	1	1	1	1
S_{EF}	100,00	48,97	28,01	49,51	22,64	42,40	77,58	0,00
S_{DIS}	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S	100,00	74,49	64,01	74,75	61,32	71,20	88,79	50,00

A tabela 4.8 mostra que o par *input/output* que apresentou o maior valor de S foi o número de atracções e a quantidade de contêineres respectivamente.

Após cada passo no método multicritério combinatório inicial, deve-se analisar a relação existente entre o número de indicadores (*inputs* e *outputs*) e o número de DMUs. Para critério desse estudo, o método será interrompido quando o número de DMUs não exceder o quántuplo do número de variáveis.

Como existem 20 DMUs e duas variáveis em análise, o critério acima não aconteceu, e então passa-se para a próxima etapa, que consiste em acrescentar uma variável como *input*. Os resultados são mostrados na tabela 4.9.

Tabela 4.9: Cálculo de S incluindo um terceiro indicador (obrigatório NATRAC), em 2012.

Inputs	NATRAC CONSIG	NATRAC CCAIS	NATRAC AREA	NATRAC ITOP	NATRAC BERÇOS	NATRAC PRANCHA	NATRAC PROF
Output	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
EFF média	62,90	60,06	65,96	58,20	61,41	63,44	60,79
DMUs na fronteira	2	2	3	2	2	2	2
S_{EF}	60,57	23,97	100,00	0,00	41,37	67,53	33,38
S_{DIS}	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S	80,28	61,98	50,00	50,00	70,68	83,76	66,69

A tabela 4.9 mostra que o acréscimo do indicador prancha média apresentou o maior valor de S nessa rodada, sendo portanto o segundo *input* escolhido.

Com 20 DMUs e três variáveis em análise, o número de DMUs ainda não excedeu o quántuplo do número de variáveis, e então passa-se para a próxima etapa, acrescentando mais uma variável como *input*. Os resultados são mostrados na tabela 4.10.

Tabela 4.10: Cálculo de S incluindo um quarto indicador
(obrigatório NATRAC e PRANCHA), em 2012

Inputs	NATRAC PRANCHA CONSIG	NATRAC PRANCHA CCAIS	NATRAC PRANCHA AREA	NATRAC PRANCHA ITOP	NATRAC PRANCHA BERÇOS	NATRAC PRANCHA PROF
Output	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
EFF média	65,04	63,83	69,35	63,44	65,04	64,49
DMUs na fronteira	2	2	3	2	2	2
S_{EF}	27,07	6,60	100,00	0,00	27,07	17,77
S_{DIS}	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
S	63,54	53,30	50,00	50,00	63,54	58,88

A tabela 4.10 mostra que o acréscimo do indicador consignação média ou taxa de ocupação dos berços apresentaram o mesmo resultado: um valor de S maior que os demais calculados nessa rodada.

Tabela 4.11: Cálculo de S incluindo um quinto indicador (obrigatório NATRAC, PRANCHA e CONSIG ou NATRAC, PRANCHA e BERÇOS), em 2012.

Inputs	NATRAC PRANCHA CONSIG CCAIS	NATRAC PRANCHA CONSIG AREA	NATRAC PRANCHA CONSIG ITOP	NATRAC PRANCHA CONSIG BERÇOS	NATRAC PRANCHA CONSIG PROF
Output	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
EFF média	65,05	71,16	65,04	65,90	65,06
DMUs na fronteira	2	3	2	2	2
S_{EF}	0,16	100,00	0,00	14,05	0,33
S_{DIS}	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S	50,08	50,00	50,00	57,03	50,16

Inputs	NATRAC PRANCHA BERÇOS CONSIG	NATRAC PRANCHA BERÇOS CCAIS	NATRAC PRANCHA BERÇOS AREA	NATRAC PRANCHA BERÇOS ITOP	NATRAC PRANCHA BERÇOS PROF
Output	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
EFF média	65,90	65,16	70,25	65,04	65,43
DMUs na fronteira	2	2	3	2	2
S_{EF}	16,51	2,30	100,00	0,00	7,49
S_{DIS}	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00
S	58,25	51,15	50,00	50,00	53,74

Com 20 DMUs e quatro variáveis em análise, o número de DMUs ainda não excedeu o quádruplo do número de variáveis, e então passa-se para a próxima etapa, acrescentando mais uma variável como *input*. Serão feitas duas análises, uma com o indicador consignação média e outra com o indicador taxa de ocupação dos berços. A tabela 4.11 mostra que em ambos os casos o resultado apresentado é o mesmo, ou seja, o maior valor de S obtido ocorre quando consideram-se os indicadores consignação média e taxa de ocupação de berços juntos.

Todavia, com 20 DMUs e cinco variáveis em análise, o número de DMUs não excede o quádruplo do número de variáveis, sendo então o método interrompido nesse instante.

Portanto, pelo Método Multicritério Combinatório Inicial, os *inputs* selecionados são: **número de atracções, prancha média, consignação média e taxa de ocupação dos berços.**

4.3.2.3. Método Multicritério Combinatório por Cenários

A primeira parte do algoritmo é análoga ao método multicritério combinatório inicial, porém sem uma regra para a parada do processo, ou seja, ele ocorre até que sejam utilizadas todas as variáveis em estudo.

A tabela 4.12 mostra o restante do cálculo que não foi feito anteriormente em razão de se ter atingido o ponto de parada do método multicritério combinatório inicial. Novamente, os cálculos referentes às eficiências médias em cada passo restante são feitos conforme descrito no método I-O Stepwise, e não serão explicitados nas tabelas que se seguem.

Tabela 4.12: Cálculo de S incluindo os demais indicadores, em 2012.

Inputs	NATRAC	NATRAC	NATRAC	NATRAC
	PRANCHA	PRANCHA	PRANCHA	PRANCHA
	CONSIG	CONSIG	CONSIG	CONSIG
	BERÇOS	BERÇOS	BERÇOS	BERÇOS
	CCAIS	AREA	ITOP	PROF
Output	QUANT	QUANT	QUANT	QUANT
EFF média	65,90	72,05	65,90	65,91
DMUs na fronteira	2	3	2	2
S_{EF}	59,41	100,00	0,00	59,47
S_{DIS}	100,00	0,00	100,00	100,00
S	79,70	50,00	50,00	79,74

DMU-02	63,52	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64
DMU-03	54,40	76,51	76,51	76,51	76,51	76,51	76,51	76,51
DMU-04	68,34	80,08	80,08	80,08	80,08	80,08	80,08	82,27
DMU-05	77,90	84,65	85,63	85,63	85,63	85,63	85,63	100,00
DMU-06	50,46	54,99	55,88	55,88	55,88	55,88	55,88	55,88
DMU-07	80,81	80,81	86,39	86,39	86,66	86,66	86,66	89,63
DMU-08	41,17	45,79	45,83	45,83	45,83	45,83	45,83	54,65
DMU-09	40,85	72,17	72,17	72,17	72,17	72,17	72,17	72,17
DMU-10	41,58	41,58	46,18	46,18	46,18	46,18	46,18	66,39
DMU-11	68,43	68,43	73,73	73,73	73,73	73,73	73,73	82,63
DMU-12	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DMU-13	37,49	41,65	42,98	42,98	42,98	42,98	42,98	65,09
DMU-14	75,93	75,93	79,89	79,89	79,89	79,89	79,89	82,78
DMU-15	35,69	43,83	43,83	43,83	43,83	43,83	43,83	62,57
DMU-16	82,11	82,11	82,11	82,11	82,11	82,20	82,20	90,29
DMU-17	32,01	34,63	38,08	38,08	38,08	38,08	38,08	48,52
DMU-18	31,77	37,98	37,98	37,98	37,98	37,98	37,98	37,98
DMU-19	33,14	33,14	36,49	53,59	53,59	53,59	53,59	60,06
DMU-20	30,96	30,96	33,46	33,46	33,46	33,46	33,46	33,63
EFF média	56,82	63,44	65,04	65,90	65,91	65,92	65,92	72,23
DMUs na fronteira	1	2	2	2	2	2	2	3
S_{EF}	0,00	42,96	53,34	58,92	58,99	59,05	59,05	100,00
S_{DIS}	100,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	0,00
S	50,00	46,48	51,67	54,46	54,49	54,53	54,53	50,00

A tabela 4.13 mostra duas situações onde obtém-se o maior valor de S . A diferença entre os dois resultados é a inclusão ou não do inverso do tempo de operação na análise de escolha de variáveis. Observe que a inclusão dessa variável não altera nenhum valor de eficiência de quaisquer das DMUs estudadas. Esse fato permite concluir que nesta metodologia tal variável não é importante para ser considerada, e deve ser desprezada.

Portanto, pelo Método Multicritério Combinatório por Cenários, os *inputs* selecionados são: **número de atracções, prancha média, consignação média, taxa de ocupação dos berços, profundidade do terminal e comprimento total de cais do terminal.**

4.3.2.4. Decisão da escolha das variáveis

Antes de se tomar uma decisão baseada em um dos modelos acima, existe mais uma análise importante que deve ser considerada: a correlação entre as variáveis de *input* e a variável de *output*. Os valores dessas correlações são dadas na tabela 4.14 a seguir.

Tabela 4.14: Matriz de correlações entre as variáveis em estudo, em 2012.

	NATRAC	CONSIG	CCAIS	AREA	ITOP	BERÇOS	PRANCHA	PROF	QUANT
NATRAC	1,00000								
CONSIG	0,19186	1,00000							
CCAIS	0,26079	0,03662	1,00000						
AREA	0,59164	0,42407	0,16104	1,00000					
ITOP	0,23544	-0,52759	0,19118	-0,22179	1,00000				
BERÇOS	0,47799	0,12726	-0,2103	0,38269	0,20870	1,00000			
PRANCHA	0,64061	0,38601	0,39563	0,27449	0,50646	0,43537	1,00000		
PROF	-0,04627	0,10404	-0,4780	0,15680	0,07030	0,38525	-0,04069	1,00000	
QUANT	0,8994	0,5428	0,3287	0,6562	0,0141	0,4452	0,7305	-0,1000	1,0000

Pode-se verificar na tabela acima que as maiores correlações observadas com relação ao *output* escolhido são, nessa ordem (em módulo): **número de atracções, prancha média, área do terminal, consignação média, taxa de ocupação dos berços, comprimento total de cais do terminal, profundidade do canal e o inverso do tempo médio de operação.**

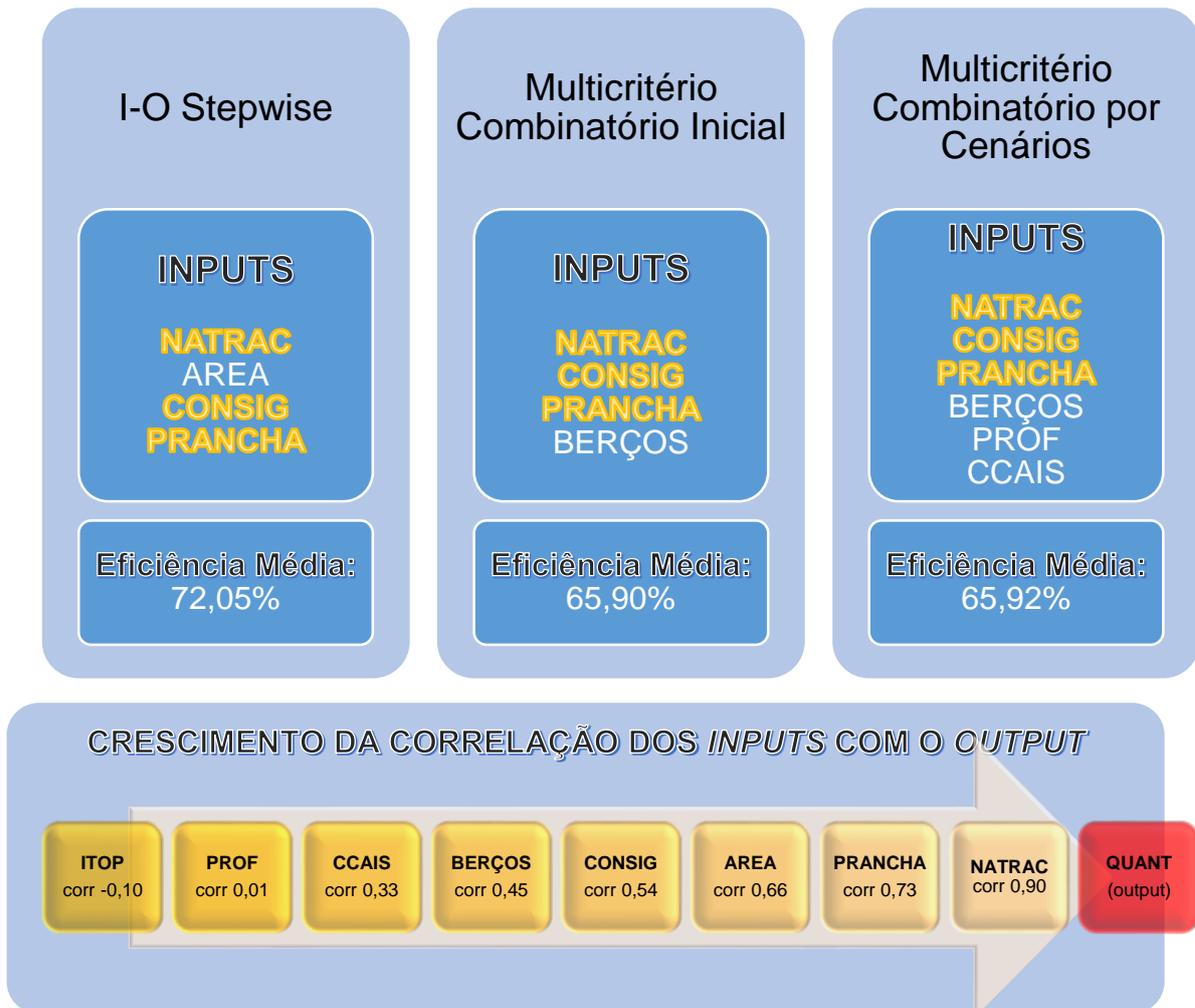
Os dois últimos indicadores citados no parágrafo anterior não apresentam uma boa correlação com a quantidade de contêineres movimentados em um terminal. Isso significa que o aumento (ou diminuição) de um desses *inputs* não necessariamente influencia na mesma direção o *output* estudado.

O comprimento total de cais e a taxa de ocupação de berços apresentaram uma fraca correlação com a quantidade de contêineres movimentada em um terminal. Segundo esse critério, tais variáveis não precisam ser necessariamente consideradas para se avaliar a eficiência dos terminais. Como o número de DMUs em estudo não é muito grande, caso seja necessário o corte de indicadores para tornar o resultado mais adequado, aqueles descritos neste parágrafo são os mais indicados.

A figura 4.2 resume os resultados descritos até então. Os indicadores **número de atracções, prancha média e consignação média** aparecem nos três métodos estudados, e não resta a

menor dúvida que devam ser utilizados para se calcular a eficiência de um terminal de contêineres. Resta determinar se é necessária a inclusão de um ou mais indicadores com base nos resultados obtidos até então.

Figura 4.2: Resultados obtidos para escolha dos indicadores a serem considerados para medição da eficiência nos terminais movimentadores de contêineres



Do ponto de vista apenas de modelagem numérica, pode-se perceber que o resultado, em termos de eficiência média dos terminais, é muito maior quando se considera a inclusão da área do terminal. Note-se também que os valores dessas eficiências médias são muito próximos quando consideramos a inclusão da taxa de ocupação dos berços apenas comparando com a inclusão desta, da profundidade do terminal e do comprimento total de cais do terminal. Em ambos os casos, os valores obtidos são 8,5% menores do que aquele obtido com a inclusão da área do terminal. Certamente, do ponto de vista matemático, a variável área do terminal contribui muito mais para o cálculo da eficiência do terminal do que

as demais. Além disso, percebe-se que a correlação com a quantidade de contêineres movimentada é maior que quaisquer outras das variáveis em dúvida de utilização nesse ponto.

Do ponto de vista da metodologia DEA, não convém adicionar muitas variáveis com um número reduzido de DMUs para análise, pois além de poder acarretar na existência de muitas DMUs na fronteira de eficiência (baixa discricionariedade), pode-se observar que algumas variáveis não terão participação alguma com sua inclusão no aumento de eficiência (como exemplo pode-se notar a tabela 4.13). Parece ser muito coerente utilizar-se da regra descrita no método multicritério combinatório inicial, que sugere a interrupção do acréscimo de variáveis quando o número de DMUs em estudo não for superior ao quádruplo do número de variáveis envolvidas (*inputs e outputs*).

Do ponto de vista de vários trabalhos anteriores realizados sobre esse tema – Rios e Maçada (2006), Wanke *et al* (2008), Fernandes (2010a) – bem como da experiência profissional do autor dessa dissertação, pode-se destacar que a área do terminal é um fator físico extremamente importante. Nos portos onde existem maiores áreas disponíveis principalmente para armazenamento de contêineres percebe-se um aumento substancial na quantidade de contêineres movimentados.

Finalmente, chega-se a uma conclusão sobre quais indicadores devem ser considerados na análise de eficiência dos terminais de contêineres através de DEA: como *inputs* serão utilizados **número de atracções, prancha média, consignação média e área do terminal**. Como *output* foi definido no início do trabalho o indicador **quantidade de contêineres movimentada**, sendo esse um objetivo a ser sempre maximizado quando se falar de aumento de eficiência.

Como as variáveis taxa de ocupação de berços e tempo médio de operação não foram selecionadas, não foi necessário excluir o TUP Super Terminais, haja vista que os erros detectados nos dados de 2010 e 2011 não irão afetar nenhum ponto de toda a análise daqui por diante.

4.4. Escolha do tipo de modelagem envoltória de dados.

Conforme visto na fundamentação teórica, deve-se escolher entre uma modelagem que envolva retornos constantes de escala (CCR) ou retornos variáveis de escala (BBC).

Além disso deve-se optar por uma orientação ao modelo escolhido. Pode-se orientar os resultados para *inputs*, onde o objetivo é poder dizer ao final da análise quais *inputs* devem ser reduzidos para se produzirem a mesma quantidade de *outputs* que uma DMU considerada eficiente, ou ainda orientar os resultados para *outputs*, onde o objetivo é poder dizer ao final da análise o quanto se deve aumentar na produção de *outputs* utilizando a mesma quantidade de *inputs* que uma DMU considerada eficiente.

Nesse ponto, para estudo das eficiências nos terminais de contêineres, a orientação mais adequada é, sem dúvida, a orientação para maximização de *outputs*. O histórico de movimentações dos terminais mostra que esse número evolui anualmente, salvo se um fator externo muito grave acontecer na economia mundial (como por exemplo a crise de 2008, que refletiu diretamente na movimentação de contêineres do ano seguinte). A não ser que se perceba uma forte estagnação nessa movimentação, o objetivo primordial dos terminais será sempre o de aumentar a movimentação, pois é esse número que gera lucro.

A partir daqui, uma vez que se tem as variáveis definidas, far-se-á a análise através de uma das duas modelagens: **DEA-CCR orientado a output** ou **DEA-BCC orientado a output**. As próximas tabelas mostram o resultado obtido para todos os anos em análise (2010, 2011 e 2012), nas duas modelagens supracitadas. Os dados utilizados podem ser consultados no Apêndice desta dissertação (tabelas A.2, A.3, A.4 e A.5)

Tabela 4.15: Eficiência dos terminais de contêineres de 2010 a 2012
CCR e BCC orientados a *output*

Modelo DEA-CCR				Modelo DEA-BCC			
	2010	2011	2012		2010	2011	2012
DMU-01	100,00	100,00	100,00	DMU-01	100,00	100,00	100,00
DMU-02	73,36	76,82	83,64	DMU-02	100,00	91,52	100,00
DMU-03	87,03	76,18	76,51	DMU-03	100,00	100,00	95,97
DMU-04	60,25	74,17	82,27	DMU-04	80,15	81,26	100,00
DMU-05	100,00	100,00	100,00	DMU-05	100,00	100,00	100,00
DMU-06	43,07	41,66	55,88	DMU-06	100,00	100,00	68,24
DMU-07	68,50	79,37	89,63	DMU-07	79,29	88,55	95,53
DMU-08	37,87	48,07	54,65	DMU-08	99,96	100,00	86,50
DMU-09	60,46	84,12	46,25	DMU-09	91,23	100,00	77,17
DMU-11	73,36	83,17	82,63	DMU-11	90,92	98,12	100,00
DMU-12	100,00	100,00	100,00	DMU-12	100,00	100,00	100,00
DMU-13	60,19	51,99	65,09	DMU-13	100,00	94,47	100,00
DMU-14	93,59	95,31	82,78	DMU-14	100,00	100,00	92,41
DMU-15	60,51	61,50	58,89	DMU-15	100,00	100,00	100,00

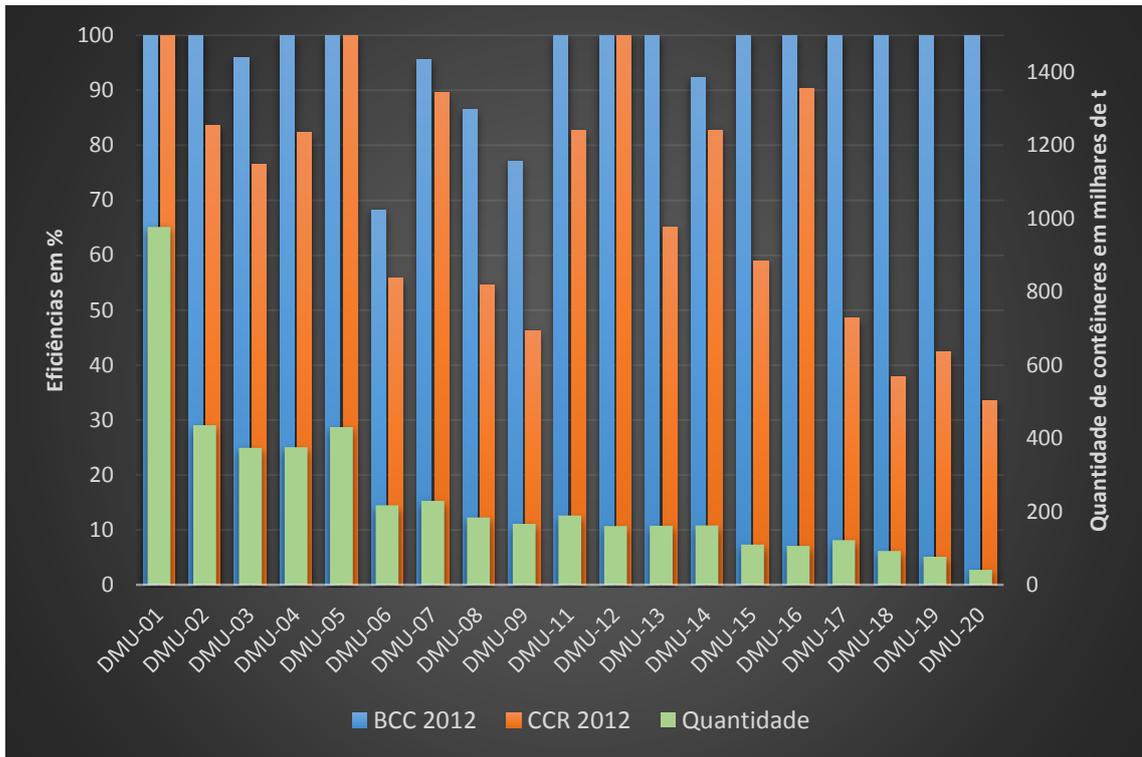
DMU-16	60,22	87,72	90,29	DMU-16	100,00	100,00	100,00
DMU-17	41,60	45,61	48,52	DMU-17	100,00	100,00	100,00
DMU-18	41,13	44,70	37,98	DMU-18	100,00	100,00	100,00
DMU-19	52,13	56,51	42,36	DMU-19	100,00	100,00	100,00
DMU-20	41,74	35,83	33,63	DMU-20	100,00	100,00	100,00
EFF	66,05	70,67	70,05	EFF	96,92	97,57	95,57

Uma percepção importante aqui é o baixo poder discriminatório entre as eficiências que é notório no modelo BCC. Para fins de análise de eficiência, e ainda a evolução dessas eficiências ao longo do tempo, percebe-se que o modelo CCR é mais adequado ao propósito desse estudo.

Segundo estudos realizados para a ANTAQ previamente (Coutinho, *et al* – 2012), foi sugerido que ao se tratar de terminais de contêineres, o modelo BCC é o mais indicado, uma vez que os terminais de maior porte são muito penalizados quando a hipótese de retornos constantes de escala é considerada. Ainda segundo esse estudo, o fato dos terminais grandes serem mais penalizados no modelo CCR ante o modelo BCC indica a não existência de economias de escala nesses terminais. Quando há economia de escala, nos modelos CCR, os maiores terminais são os mais eficientes e os menores, por sua vez, são os menos eficientes.

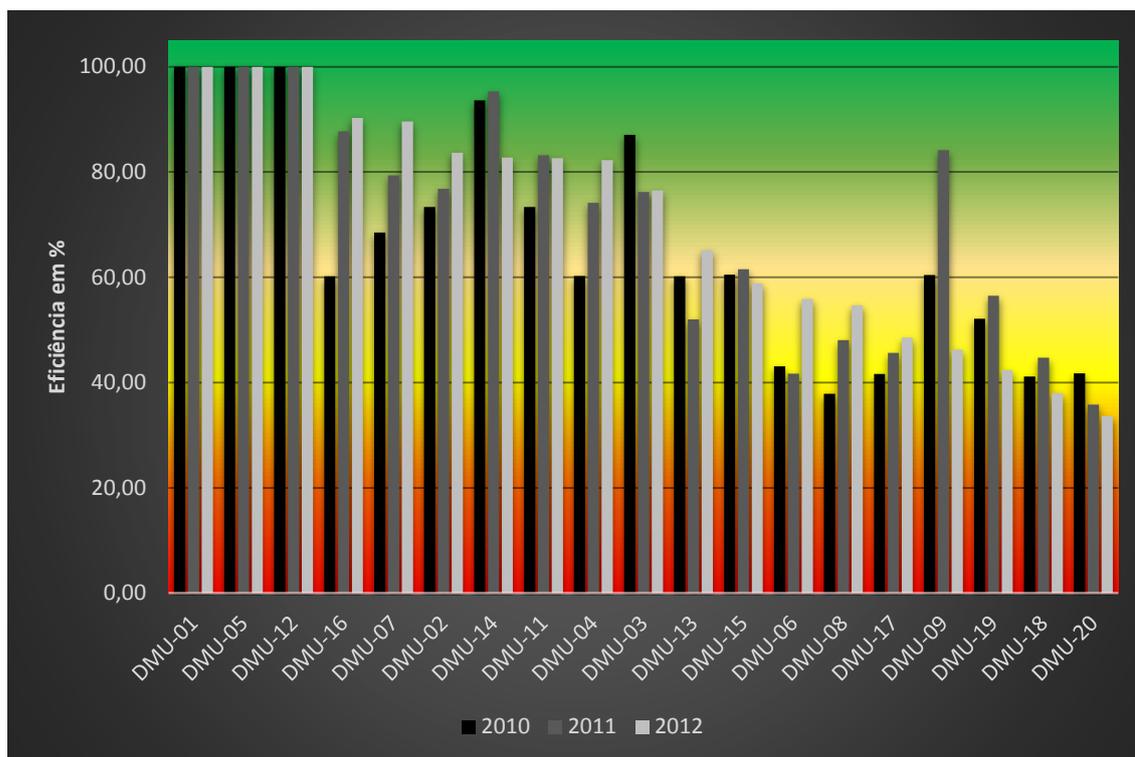
Os indicadores utilizados no estudo citado no parágrafo anterior foram investimentos em máquinas e equipamentos, despesas administrativas e custos dos serviços prestados. Nesta dissertação as variáveis utilizadas produziram um resultado diferente. Os maiores terminais não são necessariamente os mais eficientes, segundo o modelo CCR. Por exemplo, em 2012, o TUP Super Terminais (DMU-16) apresentou uma eficiência superior a três dos quatro maiores terminais de contêineres do país. A modelagem BCC apresentou mais de dois terços dos terminais em estudo na fronteira de eficiência (eficiência 100%). Já a modelagem CCR apresentou resultados mais próximos ao que se observa nos terminais brasileiros na prática e o gráfico 4.1 ilustra alguns desses resultados.

Gráfico 4.1: Comparativo entre as eficiências medidas nos modelos BCC e CCR em 2012



Portanto, baseado nas condições expostas anteriormente, conclui-se que o modelo **DEA-CCR orientado a output** é o mais adequado para o que se pretende avaliar: o valor nominal e a evolução das eficiências ao longo do tempo.

O gráfico 4.2 ilustra o comportamento das eficiências calculadas de 2010 a 2012, ordenadas por ordem decrescente de eficiências segundo o ano mais recente da análise. Interessante notar que das nove DMUs que tiveram eficiência acima de 80% em 2012, três se mantiveram em 100% por todos os anos e cinco apresentaram evolução de eficiência ao longo do período em estudo.

Gráfico 4.2: Eficiência das DMUs de 2010 a 2012 segundo DEA-CCR orientado a *output*.

Neste estudo podemos destacar dois grupos de terminais. O primeiro grupo é composto pelos terminais eficientes, que foram os mesmos durante os 3 períodos de estudo:

- **TECON Santos Brasil** (DMU-01), terminal arrendado localizado no porto de Santos, especializado na operação de contêineres, e o maior do país em termos de quantidade movimentada.
- **Libra Terminais** (DMU-05), cuja operação engloba os terminais T-35 e T-37, ambos dentro da área do porto organizado de Santos.
- **Terminal de Uso Privativo de Chibatão** (DMU-12), localizado em Manaus, é um dos principais terminais do norte do país.

O segundo grupo importante para análise aqui é composto pelos terminais que, ao observar o ano de 2012, alcançaram um índice de eficiência acima de 80%. Destes terminais, cinco apresentam crescimento sistêmico na medida de eficiência:

- **Terminal de Uso Privativo Super Terminais** (DMU-16), localizado em Manaus, é um dos principais terminais do norte do país, vizinho ao TUP Chibatão, teve uma evolução de sua eficiência relativa de 60,2% para 90,3%.

- **APM Terminais** (DMU-07), terminal arrendado do porto de Itajaí, é o único operador de contêineres deste último, atuando tanto no cais preferencial quanto no cais público, teve uma evolução de sua eficiência relativa de 68,5% para 89,6%.
- **TCP** (DMU-02), terminal arrendado do porto de Paranaguá. É o segundo terminal do país em questão de movimentação de contêineres. Mostrou uma evolução de sua eficiência relativa de 73,4% para 83,6%.
- **TVV** (DMU-11), terminal arrendado do porto de Vitória, apresentou uma evolução de sua eficiência relativa de 73,4% para 82,6%, sendo esse último valor ligeiramente menor do que o apresentado em 2011, quando atingiu 83,2%.
- **Terminal de Uso Privativo da Portonave** (DMU-04), localizado em Santa Catarina, é um terminal que entrou em operação recentemente e já mostra uma melhoria significativa em sua eficiência segundo os dados apresentados, evoluindo no período de 60,3% para 82,3%.

4.5. Cálculo das metas para as DMUs ineficientes

Uma vez definido o modelo DEA a ser utilizado (CCR orientado a *outputs*), as variáveis que serão utilizadas (*Inputs*: número de atracções, prancha média, consignação média e área do terminal. *Output*: quantidade de contêineres movimentada) e as DMUs que irão compor a amostra de estudo (todas as DMUs listadas na tabela 4.2 com exceção do TUP Itapoá/SC), pode-se chegar a alguns resultados.

Uma crítica à DEA neste momento diz respeito às unidades eficientes. As DMUs, neste caso, não possuem metas para aumento de eficiência (afinal, elas já são eficientes), e com isso, a variável **quantidade de contêineres movimentadas** não possui uma meta de aumento. Isso acontece pelo fato da metodologia tratar do cálculo de eficiência relativa (e não absoluta). As DMUs eficientes podem se tornar ineficientes no futuro, a depender da evolução das DMUs ineficientes de acordo com o tempo.

Na tabela 4.16 são mostrados que valores quanto à movimentação de contêineres poderiam ser obtidos com o aumento da eficiência das DMUs consideradas ineficientes. É importante perceber aqui que, caso as ineficiências não existissem, ou melhor, fossem tomadas por metas para o futuro, a movimentação de contêineres na amostra desse estudo saltaria de 13.447.274

toneladas (acumulada nos três anos em questão) para 18.204.935 toneladas, o que significaria um aumento de 35,4% sobre a movimentação real.

As metas aqui devem servir como balizadores de longo prazo. Não faz sentido estipular uma meta de triplicar a movimentação de contêineres de um terminal de pequeno porte em um ano. O indicador serve para mostrar que existem possibilidades grandes de melhora para a eficiência, e isso deve ser buscado, mas em um horizonte de longo prazo.

Tabela 4.16: Potencial possível para a movimentação de contêineres nos terminais segundo dados de 2010 a 2012 através de DEA-CCR orientado a *outputs*

	2010			2011			2012		
	QUANT ATUAL	QUANT POTENCIAL	%	QUANT ATUAL	QUANT POTENCIAL	%	QUANT ATUAL	QUANT POTENCIAL	%
DMU-01	842.026	842.026	0,0%	926.758	926.758	0,0%	977.052	977.052	0,0%
DMU-02	300.341	409.406	36,3%	390.607	508.470	30,2%	435.828	521.094	19,6%
DMU-03	389.000	446.962	14,9%	382.595	502.229	31,3%	374.271	489.191	30,7%
DMU-04	252.985	419.874	66,0%	350.529	472.616	34,8%	375.756	456.714	21,5%
DMU-05	478.786	478.786	0,0%	497.499	497.499	0,0%	431.263	431.263	0,0%
DMU-06	87.122	202.298	132,2%	126.676	304.040	140,0%	217.760	389.708	79,0%
DMU-07	223.219	325.884	46,0%	258.262	325.374	26,0%	229.440	255.998	11,6%
DMU-08	107.042	282.630	164,0%	149.859	311.761	108,0%	183.900	336.515	83,0%
DMU-09	217.085	359.053	65,4%	274.396	326.188	18,9%	167.232	361.576	116,2%
DMU-11	178.010	242.663	36,3%	194.722	234.124	20,2%	189.097	228.857	21,0%
DMU-12	95.013	95.013	0,0%	95.212	95.212	0,0%	160.882	160.882	0,0%
DMU-13	150.292	249.699	66,1%	154.914	297.996	92,4%	161.778	248.563	53,6%
DMU-14	212.435	226.991	6,9%	191.143	200.544	4,9%	162.396	196.188	20,8%
DMU-15	130.829	216.226	65,3%	138.187	224.677	62,6%	110.107	186.981	69,8%
DMU-16	124.257	206.353	66,1%	185.334	211.278	14,0%	106.454	117.896	10,7%
DMU-17	102.488	246.341	140,4%	128.105	280.844	119,2%	122.674	252.840	106,1%
DMU-18	103.252	251.019	143,1%	114.933	257.113	123,7%	92.904	244.595	163,3%
DMU-19	74.604	143.121	91,8%	120.750	213.676	77,0%	77.468	182.877	136,1%
DMU-20	40.368	96.714	139,6%	40.071	111.852	179,1%	41.306	122.837	197,4%
TOTAL	4.109.154	5.741.059	39,7%	4.720.552	6.302.249	33,5%	4.617.568	6.161.627	33,4%

4.6. Avaliação da evolução das eficiências segundo Índice de Malmquist

Como visto no referencial teórico, o **índice de Malmquist (IM)** tem por objetivo avaliar os índices de produtividade em diferentes datas, além de decompor esses valores em sub-índices denominados **índice de eficiência técnica (IE)** e **índice de mudança de tecnologia (IT)**. Analisando esses valores, pode-se tirar conclusões acerca das causas que contribuem para um

aumento (ou diminuição) da eficiência total de uma DMU. Na teoria, o índice de Malmquist também é conhecido como **Fator de Produtividade Total (PFT)**.

A análise através do índice de Malmquist preenche um “vazio” deixado pela análise de eficiência através de DEA-CCR ou ainda de DEA-BCC. Nesta metodologia é possível identificar progressão (ou regressão) na produtividade de DMUs definidas como eficientes em ambos os períodos de um estudo.

A tabela 4.17 fornece o valor desses índices para todas as situações possíveis de análise no período de 2010 a 2012.

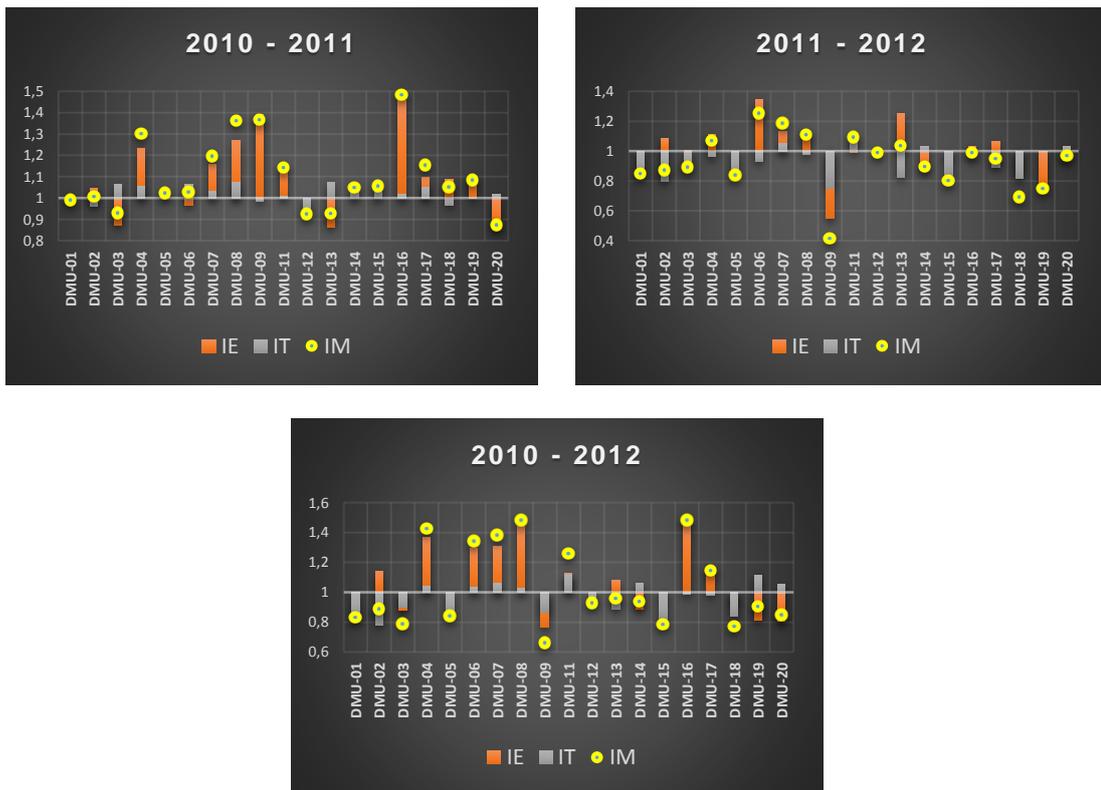
Tabela 4.17: Decomposição do Índice de *Malmquist* nos períodos de 2010 a 2012

	2010 e 2011			2011 e 2012			2010 e 2012		
	IM	IE	IT	IM	IE	IT	IM	IE	IT
DMU-01	0,9902	1,0000	0,9902	0,8491	1,0000	0,8491	0,8315	1,0000	0,8315
DMU-02	1,0067	1,0472	0,9614	0,8713	1,0887	0,8003	0,8884	1,1401	0,7792
DMU-03	0,9306	0,8753	1,0632	0,8929	1,0043	0,8890	0,7890	0,8791	0,8975
DMU-04	1,3017	1,2309	1,0575	1,0667	1,1093	0,9616	1,4235	1,3655	1,0425
DMU-05	1,0242	1,0000	1,0242	0,8380	1,0000	0,8380	0,8426	1,0000	0,8426
DMU-06	1,0286	0,9674	1,0632	1,2503	1,3411	0,9323	1,3411	1,2975	1,0336
DMU-07	1,1954	1,1588	1,0316	1,1876	1,1292	1,0518	1,3840	1,3085	1,0577
DMU-08	1,3627	1,2692	1,0737	1,1083	1,1369	0,9748	1,4819	1,4429	1,0270
DMU-09	1,3680	1,3914	0,9832	0,4141	0,5498	0,7532	0,6618	0,7650	0,8652
DMU-11	1,1438	1,1338	1,0089	1,0900	0,9935	1,0972	1,2587	1,1264	1,1175
DMU-12	0,9251	1,0000	0,9251	0,9905	1,0000	0,9905	0,9276	1,0000	0,9276
DMU-13	0,9258	0,8637	1,0719	1,0362	1,2520	0,8276	0,9594	1,0813	0,8872
DMU-14	1,0483	1,0184	1,0293	0,8961	0,8685	1,0318	0,9386	0,8845	1,0612
DMU-15	1,0562	1,0165	1,0391	0,8007	0,9574	0,8363	0,7847	0,9732	0,8063
DMU-16	1,4843	1,4568	1,0189	0,9898	1,0293	0,9615	1,4814	1,4995	0,9879
DMU-17	1,1529	1,0964	1,0516	0,9478	1,0637	0,8911	1,1439	1,1662	0,9809
DMU-18	1,0507	1,0867	0,9668	0,6914	0,8497	0,8137	0,7733	0,9234	0,8375
DMU-19	1,0832	1,0841	0,9991	0,7492	0,7496	0,9994	0,9058	0,8127	1,1147
DMU-20	0,8741	0,8583	1,0184	0,9684	0,9386	1,0318	0,8474	0,8056	1,0518

Observe que o terminal Santos Brasil (DMU-01) sempre manteve o índice de mudança de eficiência técnica igual a unidade, o que é coerente com o resultado obtido através da metodologia DEA-CCR, onde em todos os períodos esse terminal permaneceu com 100% de eficiência. Todavia foi detectado uma leve piora nos indicador de mudança de tecnologia.

De outro ponto de vista, a Libra Terminais – Santos (DMU-05) também manteve a unidade no índice de mudança de eficiência técnica, o que corrobora também com o resultado apresentado na metodologia DEA-CCR. No caso da Libra, além da eficiência relativa se manter em 100% em todos os anos, houve um incremento no índice de mudança de tecnologia, o que significa que os insumos no período $t + 1$ estão sendo melhor aproveitados.

Gráfico 4.3: Decomposição do Índice de *Malmquist* nos períodos de 2010 a 2012



Este é o significado do índice de mudança de eficiência. Quando o valor é superior à unidade, isso significa que comparando os dados do período $t + 1$ com o período t (período t como referência), a DMU aproximou-se mais da fronteira de eficiência. Já o índice de mudança de tecnologia mostra que a DMU está aproveitando de uma melhor maneira seus insumos para produzir o *output*.

Quando se compara 2011 com 2010, percebe-se que houve uma melhora no IM dos terminais em sua grande maioria e o valor médio da amostra foi 1,1028. Isso já não ocorre quando compara-se 2012 com 2011. Neste caso, apenas seis terminais apresentaram uma melhoria nesse índice, e o IM médio ficou em 0,9283. Essa situação fica muito clara quando se comparam os dados no gráfico 4.3.

CAPÍTULO 5

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM OUTROS ESTUDOS

O objetivo deste capítulo é fazer uma comparação entre os resultados obtidos neste trabalho com outros realizados nessa área. Os resultados finais encontram-se descritos nas tabelas 4.15, 4.16 e 4.17. O nome das DMUs estão descritos na tabela 4.2.

5.1. Estudos referentes à análise de eficiência através de uma modelagem DEA

5.1.1. “Avaliação da Eficiência Portuária Através de uma Modelagem DEA”, de Otávio Henrique Paiva Martins Fontes (2006)

Fontes (2006) tinha como objetivo apresentar um modelo em DEA para se calcular valores numéricos para mensurar a eficiência portuária. O autor levou em consideração a movimentação total de cargas nos portos, independentemente da natureza ou do acondicionamento. Seus dados de análise foram obtidos junto à ANTAQ e compreendem as seguintes características:

- Período de análise: 2002, 2003 e 2004.
- Portos e terminais em estudo: foram estudados 31 portos e terminais, durante três anos consecutivos e simultaneamente na mesma análise, totalizando assim 93 DMUs.
- Modelagem escolhida: DEA – BCC orientada a *output*.
- *Input* do modelo: extensão total de cais aportável.
- *Outputs* do modelo: movimentação total de embarcações e movimentação total de carga transportada dentro e fora do cais.

O autor chegou a oito DMUs com valor máximo de eficiência: Areia Branca (2002 e 2004), Rio Grande (2004), Santarém (2002), Santos (2003 e 2004), São Sebastião (2004) e Tubarão (2004).

Existem algumas diferenças importantes na abordagem desta dissertação e na abordagem de Fontes (2006).

Primeiramente, todos os dados de Fontes (2006) foram dispostos em uma mesma análise. Isso permitiu que se aumentasse o número de DMUs, e como o número de variáveis foi pequeno (um *input* e dois *outputs*), os resultados obtidos através de DEA – BCC apresentaram uma discriminação bem satisfatória. Já neste trabalho, os dados foram tratados separadamente, ou seja, foram feitas três análises (2010, 2011 e 2012) com um número reduzido de DMUs (apenas 19 terminais) e com um alto número de variáveis (quatro *inputs* e um *output*). Esta disposição dos dados fez com que quase a totalidade dos terminais estudados fossem considerados eficientes, o que carece de comprovação empírica.

Com relação às DMUs e variáveis escolhidas, Fontes (2006) considerou a movimentação do porto como um todo, não importando qual a natureza da carga (granel sólido, granel líquido, carga geral ou contêineres). Já neste trabalho foram considerados apenas terminais que movimentam um único tipo de mercadoria (contêineres). Essa separação foi importante pois para cada tipo de mercadoria a operação é muito diferente e foram utilizados alguns indicadores operacionais. O tempo de operação, por exemplo, de desembarque de contêineres é em média muito menor que um desembarque de minério de ferro. É de se esperar que a eficiência de um terminal seja influenciada pelo tipo de carga que opera predominantemente.

Em termos de resultados, não parece viável a comparação direta, uma vez que as seleções de DMUs, de variáveis e de metodologia foram bem diferentes.

5.1.2. “Avaliação dos Terminais que Movimentam Contêineres no Brasil Através da Análise Envoltória de Dados”, de Renato Leite Fernandes (2010)

Fernandes (2010a) tinha como objetivo aplicar um modelo em DEA para se calcular a eficiência portuária restrita a terminais de contêineres, sejam estes públicos ou privados. Seus dados de análise foram obtidos junto à ANTAQ e às autoridades portuárias através de pesquisa direta, e compreendem as seguintes características:

- Período de análise: 2008.
- Portos e terminais em estudo: foram estudados 21 terminais (sendo dois destes internacionais), ou seja, 21 DMUs.
- Modelagem escolhida: DEA – BCC orientada a *output*.
- *Inputs* do modelo: comprimento do cais, área do terminal e número de equipamentos.

- *Output* do modelo: movimentação total de contêineres em TEU.

O autor chegou a cinco DMUs com valor máximo de eficiência no modelo CCR orientado a *output*, sem restrição de pesos: Teconvi, Tecon Salvador, T-37, Tecon Santos e Tecondi. Ao utilizar o modelo BCC orientado a *output* o resultado passou para nove DMUs eficientes: Teconvi, Tecon Salvador, T-37, Rodrimar, Tecon Santos, Tecondi, CP São Francisco do Sul, Pecém e Super Terminais. Optou-se pelo segundo modelo em razão da diferença de escalas muito grande entre os terminais estudados.

Uma restrição interessante foi colocada em Fernandes (2010a): a imposição de pesos mínimos. Quando se observa o peso de cada uma das variáveis estudadas para se calcular o valor de eficiência, nota-se uma grande quantidade de pesos nulos.

Neste trabalho cogitou-se a ideia de se impor uma restrição de pesos para impedir o surgimento de pesos nulos nas variáveis, o que não foi aplicado. Optou-se por não fazer essa restrição por duas razões: a primeira é que essa restrição seria totalmente empírica, uma vez que o uso de indicadores como prancha média, consignação média e taxa de ocupação dos berços estavam sendo utilizados pela primeira vez, em uma amostra de apenas três anos. A segunda razão é que a restrição de pesos implica em uma redução geral das eficiências dos terminais, o que não seria interessante neste trabalho, onde a ideia foi a de se atingir os maiores valores possíveis, utilizando-se modelos clássicos.

Pensou-se inclusive em utilizar faixa de pesos baseando-se na correlação existente entre cada *input* com o *output* em estudo. Por exemplo, em 2012, a correlação entre prancha média e a quantidade de contêineres movimentadas foi de 0,73052. Se somarmos todas as correlações das variáveis utilizadas (tabela 4.14) o resultado será 2,82894. A participação da prancha média nesse número é de 26%, e uma faixa de tolerância para o peso da variável poderia ser de 13% a 39%. Entretanto, esse tipo de restrição iria acarretar em um problema de continuidade de análise. O objetivo principal desta dissertação é criar uma metodologia contínua de avaliação de eficiência dos terminais de contêineres. Que pesos seriam considerados para comparar resultados de um ano para o outro? Por todas essas razões, não foram impostas quaisquer restrições aos pesos das variáveis utilizadas.

Comparando os resultados obtidos na modelagem CCR em Fernandes (2010a), dois terminais foram considerados eficientes em ambos os estudos: Tecon Santos Brasil (SP) e Libra Terminais (SP). Neste trabalho os outros terminais considerados eficientes na pesquisa de Fernandes (2010a) mostraram-se ineficientes: a APM Terminais (antigo Teconvi) apresentou

um índice médio de eficiência de 79,2%, o Tecon Salvador apresentou média de 59,1% e o Ecoporto Santos (antigo Tecondi) apresentou média de 90,6%. No sentido inverso, neste trabalho o TUP Chibatão foi considerado eficiente nos três anos em análise, enquanto que em Fernandes (2010a) este índice foi de 51,4%.

Os resultados deste trabalho na modelagem BCC foram poucos discriminatórios: em geral apenas cinco terminais eram considerados ineficientes em cada ano. Os terminais considerados eficientes em Fernandes (2010a) também atingiram a eficiência nesse trabalho.

5.1.3. “Estudo Comparativo das Estruturas de Custos e Avaliação de Projetos/Investimentos entre Terminais Portuários de Uso Público e Terminais Portuários de Uso Privativo Misto”, de Paulo César Coutinho *et al* (2012)

O trabalho desenvolvido pela equipe de pesquisadores da Universidade de Brasília – UnB investigou a existência de retornos crescentes de escala e eficiência de terminais. O estudo compreende as seguintes características:

- Período de análise: 2010.
- Portos e terminais em estudo: foram estudados 15 terminais, públicos e privados, totalizando assim 15 DMUs.
- Modelagem escolhida: DEA – BCC orientada a *output*.
- *Inputs* do modelo: investimentos em máquinas e equipamentos, despesas administrativas e custos de serviços prestados.
- *Output* do modelo: movimentação total de contêineres em TEU.

Relativa à existência ou não de retornos crescentes de escala, o estudo coordenado por Coutinho (2012) concluiu, após vários testes econométricos, que não existem evidências de retorno crescente de escala nas operações dos terminais de contêineres.

Quanto à eficiência dos terminais pesquisados no estudo, nota-se que na modelagem CCR apresentaram-se como eficientes os terminais de Paranaguá e Pecém. Já na modelagem BCC, além dos dois já citados aparecem na relação o Tecon Santos Brasil, a Libra Terminais (SP) e o Teconvi.

Quando compara-se os resultados obtidos anteriormente com este trabalho, percebe-se que dependendo das variáveis que sejam utilizadas na análise, o resultado pode ser bem diferente. O estudo realizado pela UnB utilizou-se basicamente de variáveis financeiras para se determinar a eficiência dos terminais, enquanto neste trabalho foram utilizados variáveis físicas e indicadores operacionais.

Neste trabalho, considerando a modelagem CCR, o Terminal de Contêineres de Paranaguá (TCP) apresentou uma eficiência média de 77,9% nos três anos de estudo e o Terminal de Pecém apresentou uma média de 41,27%. Terminais considerados eficientes neste trabalho não obtiveram um bom resultado na análise feita pela UnB. Naquele estudo, sempre considerando a mesma modelagem, o Tecon Santos Brasil apresentou uma eficiência de 75,9%, a Libra Terminais (SP) mostrou uma eficiência de 36,1% e o TUP Chibatão obteve uma eficiência de 41%.

Quando se observam os resultados obtidos através da modelagem escolhida naquele estudo, percebe-se que os terminais que alcançaram a eficiência também o fizeram neste trabalho. Novamente é preciso destacar que a modelagem BCC neste trabalho apresentou mais de 70% dos terminais estudados como eficientes. Em suma, a escolha do modelo a ser seguido, bem como das variáveis a serem analisadas são extremamente importantes, podendo levar a resultados, em princípio destoantes.

Para exemplificar a importância da escolha de variáveis, a tabela 5.1 mostra como seria o resultado da eficiência dos terminais no ano de 2010 utilizando-se como *inputs* uma variável financeira do estudo da UnB (custos dos serviços prestados, em R\$), uma variável física (área do terminal, em m²) e uma variável de produtividade (prancha média, em contêiner/hora). Como *output* foi mantida a quantidade movimentada de contêineres (em unidades/ano). A escolha dentre as variáveis financeiras para esse teste foi aquela que tivesse maior correlação com o *output*.

Tabela 5.1: Teste de análise de eficiência segundo DEA-CCR e DEA-BCC utilizando dados físicos, financeiros e de produção

	AREA	PRANCHA	CUSTOS	QUANT		CCR Score	BCC Score
DMU-01	596.000	39,90	337.978.000	842.026		100,00	100,00
DMU-02	332.000	19,40	114.070.000	300.341		94,91	100,00
DMU-04	270.000	32,70	175.042.000	252.985		66,32	68,33
DMU-06	400.000	19,30	76.334.000	87.122		34,98	35,07
DMU-07	180.000	28,70	104.698.420	223.219		87,78	93,17
DMU-09	280.000	22,90	57.488.000	217.085		100,00	100,00
DMU-12	450.000	21,20	30.192.158	95.013		56,53	64,17
DMU-13	118.000	28,10	55.321.000	150.292		97,22	100,00
DMU-14	209.000	23,10	164.204.000	212.435		71,94	76,26
DMU-16	104.000	15,50	55.967.027	124.257		86,42	100,00
DMU-18	380.000	13,40	12.464.335	103.252		100,00	100,00
DMU-19	71.000	31,40	15.671.000	74.604		100,00	100,00

Com os dados da tabela 5.1, quatro terminais foram considerados eficientes nas duas modelagens analisadas: o Tecon Santos Brasil, o Tecon Suape, o Terminal Privativo de Pecém e o TESC, o que mostra mais um resultado bem diferente dos demais feitos anteriormente, tanto neste trabalho como no estudo da UnB.

5.2. Análise da evolução da produtividade através do Índice de Malmquist

5.2.1. “Avaliação dos Portos Brasileiros por meio do Índice de Malmquist”, de Renato Leite Fernandes (2010)

Fernandes (2010b) tem como objetivo neste artigo avaliar a evolução da produtividade dos portos e terminais privativos através do Índice de Malmquist, comparando os dados de 2008, período da crise financeira mundial, com o período de 2005. A análise não teve restrição à movimentação de contêineres, sendo considerado a movimentação total da instalação portuária, independente da natureza da carga. Sua análise foi feita no sentido 2008 → 2005 e as principais características do estudo foram:

- Período de análise: 2008 e 2005.
- Portos e terminais em estudo: foram estudados 23 portos/terminais, ou seja, 23 DMUs.
- Modelagem escolhida: Índice de Malmquist.

- *Inputs* do modelo: comprimento do cais, área do terminal e quantidade de trabalhadores portuários avulsos (TPAs).
- *Outputs* do modelo: movimentação total de carga geral, de granel sólido e granel líquido.

O primeiro ponto a se destacar em Fernandes (2010b) é o significado dos valores encontrados na análise. O sentido da análise (2008 → 2005) foi diferente do sentido da análise deste trabalho (2010 → 2011 e 2011 → 2012), e por isso a interpretação dos resultados é feita de modo diferente daquela apresentada nesta dissertação. Essa diferença foi mostrada no capítulo 3 (quadro 3.1).

É importante destacar novamente aqui que a análise deste artigo foi feita sem uma discriminação por natureza da carga. A produtividade de um terminal, assim como a eficiência, é geralmente muito diferente em termos de valores a depender da natureza da carga que está sendo operada.

Fernandes (2010b) mostrou que, em média, os portos brasileiros tiveram um aumento em sua produtividade. Se considerarmos apenas aqueles portos que possuem uma movimentação significativa de contêineres, para podermos comparar com este trabalho, os que obtiveram melhor desempenho foram os portos de Itaguaí, Paranaguá, Rio de Janeiro, Salvador, Santos, Suape e Vitória.

Neste estudo, considerando uma janela de dois anos (2010 → 2012), os terminais que apresentaram acréscimo de produtividade foram o TUP Portonave, o Tecon Sepetiba (porto de Itaguaí), a APM Terminais (porto de Itajaí), o terminal Multiterminais (porto do Rio de Janeiro) e o Tecon Suape (porto de Suape).

Em termos de análise nacional, em ambos os estudos foram apontados aumento de produtividade. Este aumento foi mais significativo entre o período de 2005 a 2008 do que no período de 2010 a 2012. Quando decomposmos o índice de Malmquist em Fernandes (2010b), tanto a mudança de eficiência quanto a mudança de tecnologia apresentaram desempenhos positivos. Entretanto, neste trabalho, o índice de mudança de tecnologia apresentou um pequeno regresso, mas que foi compensado pelo bom desempenho do índice de mudança de eficiência.

Examinando Fernandes (2010b) e este trabalho, percebe-se a importância de se analisar os dados continuamente. Somente com uma série histórica pode-se tirar conclusões mais apuradas sobre a evolução de produtividade dos portos e terminais.

5.2.2. “Análise Exploratória da Eficiência Produtiva dos Portos Brasileiros”, de Francisco G. F. da Silva, Francisco G. D. Martins, Carlos H. Rocha e Carlos E. F. Araújo (2011)

Da Silva (2011) trata da evolução da produtividade dos portos organizados através do Índice de Malmquist, comparando os dados de 1999 e 2000. A análise teve restrição à movimentação de contêineres e carga geral. Sua análise foi feita no sentido 1999 → 2000 e as principais características do estudo foram:

- Período de análise: 1999 e 2000.
- Portos e terminais em estudo: foram estudados 18 portos, ou seja, 18 DMUs.
- Modelagem escolhida: Índice de Malmquist.
- *Inputs* do modelo: largura da bacia de evolução, largura do canal de acesso, profundidade do canal de acesso, comprimento de cais acostável e profundidade do cais acostável.
- *Outputs* do modelo: movimentação total de carga geral e contêineres.

O trabalho desenvolvido identificou o tipo de retorno de escala que seria adotado no modelo, chegando à conclusão que a utilização de retornos constantes de escala seria a melhor abordagem a ser feita, tanto para análise da movimentação de contêineres quanto da movimentação de carga geral. Esta linha de raciocínio foi a mesma utilizada nesta dissertação. Tanto para análise de eficiência em um dado momento como durante um período foram considerados retornos constantes de escala.

O artigo mostra que a produtividade dos portos aumentou no período analisado. Para a movimentação de contêineres, os portos de Fortaleza, Itajaí, Manaus, e Salvador obtiveram crescimento no índice de Malmquist. No caso de carga geral, o estudo mostrou que 11 portos apresentaram aumento de produtividade. Entretanto, a ausência e exclusão de informação de alguns portos pode ter prejudicado o cálculo desses índices.

O estudo procurou identificar *outliers* na amostra analisada, excluindo assim os dados referentes aos portos de Santos e Itaquí (ano 1999) e Paranaguá, Rio Grande e Rio de Janeiro (ano 2000). No caso de contêineres, portos como Rio de Janeiro, Rio Grande, Paranaguá e

Santos quando não são considerados conduzem a resultados bem diferentes. Somente esses quatro portos foram responsáveis por 25,1 milhões de toneladas (65% da movimentação de contêineres em 2000). Esse resultado influencia também a análise relativa à movimentação de carga geral, uma vez que nesse ano 52% desta movimentação foi de carga containerizada.

Nesta dissertação, a análise não foi feita por porto, e sim, por terminal. O porto de Santos por exemplo possui quatro grandes terminais especializados na operação de contêineres, além do cais público onde atuam diversos operadores. Mesmo assim, somente o Tecon Santos Brasil foi sozinho responsável pela operação de 53,1% dos contêineres do porto de Santos e 19,1% da movimentação nacional. Essa razão, aliada ao fato de se ter uma amostra pequena para aplicação de DEA, e também à necessidade de se utilizar uma metodologia na ANTAQ de modo contínuo e que envolva todos os terminais de contêineres do país, neste trabalho optou-se por não excluir eventuais *outliers* da pesquisa.

A metodologia, por sua vez, mostrou-se muito boa para análise dos dados apurados no artigo. As variáveis escolhidas foram de caráter eminentemente físicos, e de grande importância na análise de eficiência de um porto. Novamente foi destacada a necessidade de um histórico de dados para se construir um painel de dados para vários períodos temporais.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1. Análise da eficiência segundo DEA-CCR orientado a *outputs*

A análise de eficiência deve ser pautada em alguns pilares fundamentais. Especificamente no caso de terminais portuários, deve-se primeiramente decidir o tipo de carga que será analisada. A metodologia DEA tem como princípio básico comparar DMUs que usem as mesmas entradas (*inputs*) e produzam as mesmas saídas (*outputs*), com tecnologias similares de produção. A operação de um terminal de contêineres é diferente da operação de um terminal de granel líquido ou de um terminal que movimenta minério de ferro, por exemplo. O porte dos navios é diferente, a infraestrutura é diferente, os tempos operacionais são diferentes.

A escolha dos indicadores que serão utilizados na análise também são muito importantes. Não se deve escolher uma quantidade excessiva de variáveis, pois esse tipo de escolha faz com que muitas DMUs fiquem localizadas na fronteira de eficiência, enfraquecendo assim o poder discriminatório da metodologia. Neste estudo foram considerados quatro *inputs* e um *output*, e os resultados através da modelagem BCC por exemplo mostraram-se inviáveis, pois das dezenove DMUs estudadas, apenas cinco ficavam fora da fronteira de eficiência. Tal observação já não ocorreu no modelo CCR, onde apenas três DMUs foram consideradas como eficientes.

Muitos estudos foram feitos anteriormente, sejam na modelagem CCR, sejam na modelagem BCC. Fernandes (2010a), por exemplo, cita em sua dissertação que o modelo BCC é mais indicado, uma vez que os terminais trabalham em escalas muito diferentes, e com isso existe uma tendência de se considerar mais eficientes as unidades de maior escala. Coutinho *et al* (2012) também sugere o modelo BCC, entretanto argumentando justamente o oposto, ou seja, que os grandes terminais são penalizados quando considerada a modelagem CCR. Fontes (2006) também optou pela modelagem BCC, em razão da diferença significativa de escala entre as unidades estudadas.

Nesta dissertação, ao contrário dos estudos citados no parágrafo anterior, optou-se pela modelagem CCR para análise das eficiências dos terminais de contêineres. Em primeiro lugar,

limitou-se a natureza da carga a ser movimentada nos terminais: carga containerizada. Não foi utilizado diretamente os dados dos portos como um todo, o que diminuiu um pouco a pressão dos números do porto de Santos em relação aos demais portos. Por se tratar da análise de terminais especializados, optou-se por separá-los, e com isso, o porto de Santos ficou subdividido em quatro terminais arrendados (Tecon Santos Brasil, Libra Terminais, Rodrimar e Ecoporto Santos) e o porto do Rio de Janeiro em dois (Libra Terminais e Multiterminais). Em segundo lugar, os valores das eficiências encontrados nesta modelagem foram bem coerentes. Considerando o valor médio das eficiências nos três anos de análise, na fronteira de eficiência permaneceram dois terminais de grande porte (Tecon Santos Brasil e Libra Terminais – Santos) e um terminal de menor porte (TUP Chibatão). Os terminais menos eficientes na média, segundo a modelagem CCR, foram o porto de Fortaleza, o TUP Pecém e a Libra Terminais – Rio de Janeiro. Os três terminais realmente estão entre os de menor escala de movimentação, mas é importante observar os resultados dos terminais Multiterminais e Tecon Sepetiba. Ambos os terminais possuem uma escala de movimentação de contêineres bem maior, mas tiveram resultados médios de eficiência muito semelhantes aos piores encontrados na pesquisa.

Novamente, deve-se ater muito cuidado na escolha das variáveis que serão consideradas. Por exemplo, em uma simulação feita considerando como *inputs* comprimento de cais, área do terminal, taxa de ocupação dos berços e prancha média, o ranking de eficiência traria somente o Tecon Santos Brasil e a Libra Terminais – Santos. Quando utilizamos os *inputs* área do terminal, prancha média e custos das operações portuárias (capítulo 5, tabela 5.1), ficam na fronteira de eficiência Tecon Santos Brasil, Tecon Suape, TUP Pecém e TESC – São Francisco do Sul.

Portanto, a modelagem CCR apresentou excelentes resultados com as variáveis escolhidas para análise nesta dissertação. Os valores de eficiências obtidos para os anos de 2010, 2011 e 2012 mostraram-se bastante coerentes. É importante destacar aqui o valor de se ter um bom histórico de dados. Ao analisar a eficiência dos terminais, incorporando os próximos anos, será possível fazer diversas comparações, com diversas variáveis distintas, e optar-se por um conjunto de indicadores que reflitam a situação dos terminais de modo mais preciso ainda.

Pode-se utilizar no futuro outras variáveis para análise. A ANTAQ está atualmente em fase de conclusão de dois projetos muito importantes: a pesquisa de satisfação do usuário e a pesquisa de preços dos serviços portuários. Uma vez que essas pesquisas entrem em operação, irão

gerar números que certamente poderão influenciar na avaliação de eficiência dos terminais, e DEA poderá ser muito útil no futuro quando esses números estiverem mais consolidados.

Em se tratando das metas calculadas e tidas como “ineficiência” dos terminais, conclui-se que esses valores devem ser utilizados com cautela. Não parece coerente exigir um aumento de quase 200% na movimentação de contêineres no porto de Fortaleza, por exemplo, uma vez que não existe uma previsão de demanda tão grande assim para essa região. Esse número indica duas coisas: a necessidade de se aumentar a movimentação de contêineres no longo prazo e também a necessidade de melhoria dos indicadores através dos *inputs*. No capítulo 2 foi mostrado que, em média, a movimentação de contêineres vem aumentando cerca de 11% ao ano (gráfico 2.1). Se olharmos as quantidades projetadas para 2012 obtidas na análise de metas (capítulo 4, tabela 4.16), apenas quatro terminais teriam metas coerentes com o aumento histórico da movimentação de contêineres que vem ocorrendo no Brasil.

6.2. Análise da evolução da produtividade através do Índice de Malmquist

Quando analisou-se a eficiência dos terminais de contêineres através da fronteira de eficiência, percebeu-se que faltava uma análise temporal desses resultados. Mais ainda, os terminais que foram considerados eficientes nos três anos de estudo não tinham metas de produção, nem tampouco uma avaliação de melhorias (ou pioras) na sua produtividade. A solução para esses entraves é a análise através do Índice de Malmquist. A análise deste índice mostra a evolução da produtividade de um terminal de contêineres. Neste estudo foram feitas três análises: 2010/2011, 2011/2012 e 2010/2012 (sendo sempre o mais antigo como referência inicial), todas orientadas a *outputs*.

A primeira conclusão que pode-se obter é que o fato de um terminal manter-se na fronteira de eficiência nos três anos quando foi aplicada a metodologia DEA – CCR não significa necessariamente que houve uma manutenção de seus índices de produtividade. Na verdade, a diferença aparece na decomposição do índice de Malmquist em índice de mudança de eficiência e índice de mudança de tecnologia.

Como visto anteriormente, três terminais mantiveram-se na fronteira de eficiência durante 2010, 2011 e 2012. Analisando o índice de mudança de tecnologia destes três terminais, observamos que no caso do Tecon Santos Brasil esse índice caiu, apresentando uma piora nesse critério. Isso significa que, apesar de se manter na fronteira de eficiência, os *inputs* estão

sendo utilizados de uma maneira menos eficiente que no período anterior. A Libra Terminais – Santos apresentou uma melhora no primeiro período (2010/2011) e uma piora no segundo (2011/2012) e o TUP Chibatão mostrou piora nos dois períodos analisados.

Cinco terminais apresentaram melhoras sucessivas nos períodos analisados: TUP Portonave/SC, Tecon Sepetiba/RJ, APM Terminais/SC, Multiterminais/RJ e TVV/ES. Quatro terminais apresentaram quedas sucessivas na série estudada: Tecon Santos Brasil, Tecon Rio Grande, TUP Chibatão e o porto de Fortaleza.

De posse desses índices, a ANTAQ poderá estipular algumas metas, visando melhoras nos índices de produtividade. Por exemplo, considere o TUP Pecém. Caso a movimentação de contêineres em 2012 fosse de 135.000 toneladas ao invés das 92.904 toneladas registradas, e todos os demais terminais mantivessem seus resultados originais, a eficiência não aumentaria (manteria 44,7%), mas o índice de Malmquist teria uma alteração significativa (aumentaria de 0,6914 para 1,0047). Este é um número bem mais plausível como meta do que as quase 245.000 toneladas calculadas como ineficiência direta do modelo CCR. Para a Libra Terminais – Santos, por exemplo, a meta de movimentação de contêineres que tornaria o índice de Malmquist maior que a unidade (aumentaria de 0,8380 para 1,0015) seria 550.000 toneladas.

O foco desta dissertação sempre foi o aumento na movimentação de contêineres, uma vez que não existe uma previsão de estagnação ou de regressão nesse número para os próximos anos. Por isso não foi levantada hipótese alguma sobre redução de *inputs* como metas. No cenário atual e futuro, não parece necessário falar sobre redução de prancha média, redução de número de atracções ou de consignação média, ou ainda redução de área de terminais.

O histórico de dados nessa metodologia possui uma importância muito grande. Através da análise de vários períodos, pode-se perceber claramente se um terminal está evoluindo (ou não) em sua produtividade com base nas variáveis escolhidas.

6.3. Sugestões para estudos futuros

- Analisar outros tipos de terminais, de acordo com a natureza da carga que movimentam. Terminais especializados em graneis sólidos (soja, trigo, açúcar, milho, arroz, fertilizantes, coque, etc.), terminais especializados em graneis líquidos

(combustíveis) e terminais que movimentam carga geral solta (bobinas, produtos siderúrgicos, etc.).

- Escolher outras variáveis e simular as modelagens DEA – CCR, DEA – BCC e o índice de Malmquist e comparar os resultados com aqueles expostos nesta dissertação.
- Fazer uma análise de eficiência seguindo critérios semelhantes aos adotados nesta dissertação, utilizando agora a fronteira estocástica e comparando os resultados obtidos.
- Ampliar o estudo realizado aqui para novos períodos de tempo, considerando um histórico de pelo menos cinco anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Mariana R. **Infraestrutura produtiva: uma sistematização dos métodos técnicos e modelos para análise de desempenho**. São Carlos, 2007.

ALMEIDA, Mariana R. **A eficiência dos investimentos do programa de inovação tecnológica em pequena empresa (PIPE): uma integração da análise envoltória de dados e índice de Malmquist**. São Carlos, 2010.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em 01 jul, 2013.

BARROS, C.P.; WEBER, William L. “Productivity Growth and Biased Technological Change in UK Airports”. Instituto Superior de Economia e Gestão Working Papers nº 37. 2008.

BRASIL. Lei nº 12.815, de 05 de junho de 2013. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm>. Acesso em 10 jun. 2013.

CAMANHO, A. S., DYSON, R. G. “Data envelopment analysis and Malmquist indices for measuring group performance”. *Journal of Productivity Analysis*, v. 26, p. 35-49, Springer, 2006.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. “Data Envelopment Analysis”. 2. ed. Boston: KAP, 1994.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”. *European Journal of Operational Research*. v. 2, n. 6, 429-444, 1978.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; BALTESE G. E. “An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis”. 1. ed. Boston: KAP, 1998.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. “Introduction to Data Envelopment analysis and Its Uses with DEA-Solver Software and References”. Ed. Springer Science. 2006

COUTINHO, P.C. *et al.* Comparativo das Estruturas de Custos e Avaliação de Projetos/Investimentos entre Terminais Portuários de Uso Público e Terminais Portuários de Uso Privativo Misto. Relatório CERME – UnB. 2012.

DA SILVA, F. G. F. *et al.*, **Análise exploratória da eficiência produtiva dos portos brasileiros**, Transportes v. 19, n. 1, 2011.

DE MELLO, J. C. C. B. *et al.*, **Curso de análise envoltória de dados**, XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado/RS, 2005.

FARREL, M. J. “The Measurement of Productive Efficiency”. Journal of Royal Statistical Society Series A, v. 120, n. 3, 253-281, 1957.

FERNANDES, R. L. **Avaliação dos terminais que movimentam Contêineres no Brasil através da Análise Envoltória de Dados**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2010a.

FERNANDES, R. L. **Avaliação dos portos brasileiros por meio do índice de Malmquist**. Revista Pesquisa Naval n° 23, 26-33, 2010b.

FERREIRA, C. M. de C. **Introdução à Análise Envoltória de Dados: teoria, modelos e aplicações**, Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

FLITSCH, V. “Efficiency Measurement of Container Ports – A New Opportunity for Hinterland Integration”. Poznan University of Technology, Abr. 2012. Disponível em: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPP2-0019-0024>. Acesso em 15 mai, 2013.

FONTES, O. H. P. M. **Avaliação da eficiência portuária através de uma modelagem DEA**. Niterói: UFF, 2006.

FRIED, H.; LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, S.S. (eds). “The measurement of productive efficiency”. New York: Oxford University, 1993.

GUEDES, L. E. M. *et al.*, **Análise de Eficiência dos Terminais Portuários do Mercosul**, XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Fortaleza/CE, 319-330, 2008.

JUNIOR, AROLD M. M. **Índice de Malmquist aplicado na avaliação de produtividade de soja na região de Guarapuava**. Guarapuava: UFP, 2005.

JUNIOR; J. T. A; GUIMARAES, E. A. **Concorrência e Desempenhos dos portos brasileiros**. Textos Cindes n° 46, fev. 2011.

LINS, M. P. E.; MEZA, L.A. **Análise Envolvória de Dados: Perspectivas de Integração no Ambiente do Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000

MACEDO, M. A. DA S. e MANHÃES, J. V. DA P., **Avaliação de eficiência de terminais de contêineres no Brasil através da análise envoltória de dados (DEA)**, Revista de Negócios, vo. 14, n. 3, 35-53, 2009.

PORTELA, M. C. A. S.; Thanassoulis, E. “Malmquist indexes using a geometric distance function (GDF). Application to a sample of Portuguese bank branches”. Journal of Productivity Analysis, Springer, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.14/5361>>. Acessado em 10/05/2013.

SEIFORD, Lawrence M. “Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art”. The Journal of Productivity Analysis, v. 7, p. 99-137. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SILVA, Francisco G. F.; MARTINS, Francisco G. D.; ROCHA, Carlos H.; ARAUJO, Carlos E. F. **Análise Exploratória da Eficiência Produtiva dos Portos Brasileiros**. Revista Transportes. 2011.

SENRA, L. F. A. DE C., *et al*, **Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA**, Revista Pesquisa Naval n° 27, 191-207, 2007.

SOUZA JR., J. N. C. *et al*, **Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil**, Journal of Transport Literature, vol. 7, n.4, 75-106, 2013.

SUNDARAN, Rangarajan K. “*A First Course in Optimization Theory*”. New York: New York: Cambridge University Press, 1996.

TALLEY, Wayne K. “Port Performance: an Economics Perspective”. Research in Transportation Economics, Volume 17, 499–516. Ed. Elsevier. 2007.

TALLURI, S. “Data Envelopment Analysis: Models and Extensions”. Decision Line, p. 8-11, May 2000.

VAZ FERNANDES, M. C. R. B. “Desenvolvimento de um sistema de avaliação e melhoria de desempenho no sector do retalho”, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

ZHU, J. “Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets”. Ed Springer. 2009.

APÊNDICE

Tabela A.1: Denominação das DMUs do estudo.

DMU	Porto/Terminal	Movimentação (t)
DMU-01	Porto de Santos (SP) - Terminal Santos Brasil	16.631.118
DMU-02	Porto de Paranaguá (PR) - TCP	6.495.634
DMU-03	Porto do Rio Grande (RS) - TECON Rio Grande	6.168.145
DMU-04	Terminal de Uso Privativo Portonave (SC)	5.920.600
DMU-05	Porto de Santos (SP) - Libra Terminais (T-35 + T-37)	6.657.242
DMU-06	Porto de Itaguaí (RJ) - TECON Sepetiba	4.155.727
DMU-07	Porto de Itajaí (SC) - APM Terminais (inclui o cais comercial)	3.913.188
DMU-08	Porto do Rio de Janeiro (RJ) - Multiterminais	3.593.002
DMU-09	Porto de Suape (PE) - TECON Suape	4.545.651
DMU-10	Terminal de Uso Privativo de Itapoá (SC)*	3.131.798
DMU-11	Porto de Vitória (ES) - TVV	3.111.759
DMU-12	Terminal de Uso Privativo de Chibatão (AM)	2.996.859
DMU-13	Porto de Salvador (BA) - TECON Salvador (inclui o cais público)	2.812.603
DMU-14	Porto de Santos (SP) - Ecoporto Santos (TECONDI)	2.686.425
DMU-15	Porto de Santos (SP) - Rodrimar	2.055.115
DMU-16	Terminal de Uso Privativo Super Terminais (AM)**	2.025.026
DMU-17	Porto do Rio de Janeiro (RJ) - Libra Terminais	1.972.376
DMU-18	Terminal de Uso Privativo do Pecém (CE)	1.614.035
DMU-19	Porto de São Francisco do Sul (SC) - TESC (inclui o cais público)	1.352.785
DMU-20	Porto de Fortaleza (CE) - Cais Público	707.034

Tabela A.2: Dados físicos, válidos para os anos 2010, 2011 e 2012

DMU	Comprimento total de cais do terminal (m)	Área do terminal (m²)	Profundidade no terminal ou no canal de acesso (m)
DMU-01	980	596.000	13,3
DMU-02	564	332.000	12,3
DMU-03	900	391.000	12,5
DMU-04	900	270.000	11,5
DMU-05	1.085	155.000	13,3
DMU-06	810	400.000	14,3
DMU-07	1.035	180.000	11,9
DMU-08	533	185.000	13,0
DMU-09	660	280.000	15,5
DMU-10	630	110.000	16,0
DMU-11	450	108.000	12,5
DMU-12	450	450.000	16,0
DMU-13	655	118.000	15,0
DMU-14	710	209.000	12,7
DMU-15	402	70.000	12,2
DMU-16	360	104.000	16,0
DMU-17	545	136.000	13,0
DMU-18	700	380.000	15,0
DMU-19	1.033	71.000	12,8
DMU-20	1.116	140.000	10,0

Fonte: Dados informados pelos portos organizados e terminais de uso privativo.

** O TUP Itapoá/SC não operou em 2010.*

*** O TUP Super Terminais/AM apresentou dados inconsistentes neste indicador.*

Tabela A.3: Indicadores de movimentação e de desempenho operacional – 2010

DMU	NATRAC	CONSIG	TOP	BERÇOS	PRANCHA	QUANT
	Quantidade de atracções (un)	Consignação Média (un/atracção)	Tempo médio de operação (h)	Taxa de ocupação dos berços (%)	Prancha média de operação (contêineres/h)	Quantidade de contêineres no ano (un)
DMU-01	1.059	795	19,9	79,5	39,9	842.026
DMU-02	748	401	20,7	90,0	19,4	300.341
DMU-03	921	422	14,0	59,2	30,2	389.000
DMU-04	599	422	20,1	46,5	32,7	252.985
DMU-05	766	625	24,2	70,6	25,9	478.786
DMU-06	456	191	12,3	43,8	19,3	87.122
DMU-07	455	490	17,1	39,7	28,7	223.219
DMU-08	380	281	10,3	36,2	26,1	107.042
DMU-09	639	339	15,0	51,5	22,9	217.085
DMU-10 *	-	-	-	-	-	-
DMU-11	362	491	13,9	48,0	35,5	178.010
DMU-12	84	1.131	59,8	31,3	21,2	95.013
DMU-13	515	291	10,7	67,4	28,1	150.292
DMU-14	281	755	32,8	65,0	23,1	212.435
DMU-15	414	316	22,1	48,2	14,3	130.829
DMU-16	297	418	40,7	**	15,5	124.257
DMU-17	344	297	9,1	26,0	31,8	102.488
DMU-18	434	237	12,6	52,4	13,4	103.252
DMU-19	207	360	11,5	31,3	31,4	74.604
DMU-20	115	351	17,9	27,4	19,6	40.368

Fonte: Sistema Desempenho Portuário – ANTAQ, em 1º de julho de 2013.

* O TUP Itapoá/SC não operou em 2010.

** O TUP Super Terminais/AM apresentou dados inconsistentes neste indicador.

Tabela A.4: Indicadores de movimentação e de desempenho operacional – 2011

DMU	NATRAC	CONSIG	TOP	BERÇOS	PRANCHA	QUANT
	Quantidade de atracções (un)	Consignação Média (un/atracção)	Tempo médio de operação (h)	Taxa de ocupação dos berços (%)	Prancha média de operação (contêineres/h)	Quantidade de contêineres no ano (un)
DMU-01	1.125	823	17,0	72,9	48,3	926.758
DMU-02	792	493	18,6	84,9	26,5	390.607
DMU-03	856	446	12,6	46,6	35,4	382.595
DMU-04	619	566	17,3	42,8	32,7	350.529
DMU-05	824	603	22,4	69,5	27,0	497.499
DMU-06	469	270	14,0	50,1	19,3	126.676
DMU-07	434	595	17,3	37,3	34,4	258.262
DMU-08	513	292	11,2	46,3	26,1	149.859
DMU-09	704	389	23,0	71,0	17,0	274.396
DMU-10 *	112	213	9,2	17,9	23,2	23.928
DMU-11	341	571	15,5	49,3	36,7	194.722
DMU-12	94	1.012	47,8	26,8	21,2	95.212
DMU-13	460	337	12,0	68,3	28,6	154.914
DMU-14	239	799	32,5	54,5	24,6	191.143
DMU-15	396	348	21,2	32,5	16,5	138.187
DMU-16	299	619	40,0	**	15,5	185.334
DMU-17	437	293	9,2	51,9	31,8	128.105
DMU-18	431	266	19,8	56,5	13,4	114.933
DMU-19	348	347	11,7	22,6	29,7	120.750
DMU-20	132	303	16,8	23,5	18,0	40.071

Fonte: Sistema Desempenho Portuário – ANTAQ, em 1º de julho de 2013.

* O TUP Itapoá/SC iniciou suas operações em junho de 2011.

** O TUP Super Terminais/AM apresentou dados inconsistentes neste indicador.

Tabela A.5: Indicadores de movimentação e de desempenho operacional – 2012

DMU	NATRAC	CONSIG	TOP	BERÇOS	PRANCHA	QUANT
	Quantidade de atracções (un)	Consignação Média (un/atracção)	Tempo médio de operação (h)	Taxa de ocupação dos berços (%)	Prancha média de operação (contêineres/h)	Quantidade de contêineres no ano (un)
DMU-01	1.150	919	12,5	75,7	73,5	977.052
DMU-02	725	601	15,3	48,6	39,2	435.828
DMU-03	727	515	14,0	45,8	36,8	374.271
DMU-04	581	646	18,3	40,9	35,3	375.756
DMU-05	585	792	17,9	50,4	44,3	431.263
DMU-06	456	477	14,1	48,4	33,9	217.760
DMU-07	300	767	14,8	45,5	52,2	229.440
DMU-08	472	389	12,8	50,4	30,5	183.900
DMU-09	675	396	14,6	47,4	27,2	260.955
DMU-10	425	393	6,5	68,3	60,2	167.232
DMU-11	292	647	18,3	46,8	35,4	189.097
DMU-12	170	946	47,3	40,0	20,0	160.882
DMU-13	456	354	11,9	57,8	29,7	161.778
DMU-14	226	735	21,4	48,6	34,4	162.396
DMU-15	326	347	18,4	45,7	18,9	110.107
DMU-16	137	777	37,5	46,5	20,7	106.454
DMU-17	405	303	9,6	54,9	31,5	122.674
DMU-18	309	300	16,3	68,3	18,4	92.904
DMU-19	247	317	9,3	11,2	34,6	77.468
DMU-20	141	292	16,6	32,1	17,7	41.306

Fonte: Sistema Desempenho Portuário – ANTAQ, em 1º de julho de 2013.