

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA PORTUÁRIO: UM ESTUDO DE CASO PARA O NORDESTE

Marcos Paulo Ferreira de Castro¹, Thiago Carvalho Costa²

Autor¹, Orientador²

Resumo: Um sistema portuário eficiente é uma peça-chave para o desenvolvimento nacional dos países que possuem acesso aos oceanos ou rios navegáveis, movimentando pessoas e mercadorias. O monitoramento de suas atividades é fundamental para garantir a melhor alocação possível de recursos. Dentro desse contexto, foi aplicado a Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar a eficiência das três companhias de docas portuárias do Nordeste do Brasil, sendo estas, CDC, CODERN e CODEBA, ao longo de um período de 8 anos. Com o auxílio da ferramenta SIAD, o estudo analisou o desempenho dessas companhias com base em seus insumos e produtos. Os resultados mostraram que a CODERN foi a companhia mais ineficiente, subutilizando seu investimento em no mínimo 30% e podendo expandir sua receita Operacional líquida em mais de 100%. Em contrapartida, a CODEBA foi a mais eficiente e a CDC, a mais volátil.

Palavras-chave: Sistema Portuário. Eficiência. Análise Envoltória de dados (DEA).

1. INTRODUÇÃO

O nascimento do sistema portuário brasileiro é consequência da colonização e do investimento comercial da coroa, que separava a metrópole da colônia através do mar. [1]. A evolução do sistema portuário brasileiro tem início em 1808 com a “abertura dos portos às nações amigas” decretada por Dom João VI. Em 1890, foi criada a Companhia de Docas de Santos, a primeira do país, que inaugurou 260 metros de cais, classificando o porto de Santos como o primeiro porto organizado a ser operado por iniciativa privada [2].

O regime jurídico que permitia concessões e portos privados perdurou mesmo após a proclamação da república, mas a partir de 1930, começam a surgir políticas nacionalistas sobre o sistema portuário, intensificadas posteriormente pelo regime militar de 1964, que aumentou o controle federal e a participação do estado na economia e criou, em 1975, a PORTOBRÁS, com o interesse do governo em centralizar as atividades do sistema portuário. Nesse contexto, inicia-se um período de ineficiência do sistema portuário, onde o ente estatal assumia toda a exploração dos portos através das companhias de docas e a fiscalização das concessões de empresas estatais e privadas, aumentando a burocracia [2].

Após a redemocratização, nos anos 90 foi proposta a lei nº 8029/90, que dissolveu a PORTOBRÁS, causando um vazio institucional e culminando anos depois na lei 8630/93, conhecida como lei de modernização dos portos, que dava início ao embate por reformas no sistema portuário que agreguem crescimento econômico [2].

Os portos desempenham um papel importante no desenvolvimento econômico brasileiro, sendo um dos principais modelos de transporte de mercadorias dentro e fora do Brasil. Dados do anuário estatístico da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), mostram que o setor portuário brasileiro movimentou 1,32 bilhão de toneladas em 2024, sendo a maior movimentação de carga da história do país [3].

Segundo a ONU, 80% das mercadorias comercializadas globalmente são transportadas em navios. Essa porcentagem é ainda maior nos países em desenvolvimento. Estima-se que de 2023 a 2027, o comércio marítimo global deve crescer uma média de 2,1% [4].

Embora possua o maior porto da América Latina, o porto de Santos, o Brasil não figura nem entre os 50 países com melhor sistema portuário, como evidenciado pelo *Container Port Performance Index* (CPPI), um relatório do Banco Mundial [5].

Com 95% da economia do país sendo realizada em transporte marítimo, a necessidade de reformas estruturais é necessária para tratar de ineficiências, falta de modernização de equipamentos e atrasos de terminais. A medida que possibilitou uma flexibilização do sistema portuário e trouxe crescimento econômico foi a lei 8630, mesmo tendo sido uma reforma incompleta, foi a que possibilitou uma flexibilização do sistema portuário e trouxe crescimento econômico, permitindo o aumento da participação da iniciativa privada e a administração por companhias de docas, o que possibilitou o investimento privado e a segurança jurídica [6].

A necessidade de estudar a eficiência do sistema portuário surge do objetivo de analisar a competitividade

de sua infraestrutura e sua contribuição para o desenvolvimento econômico, o que pode depender de uma reformulação na gestão das subsidiárias, as companhias de docas, com ênfase em indicadores de desempenho. Apesar da expansão do segmento, persistem deficiências nos investimentos e na gestão portuária, que podem não acompanhar as demandas do mercado [7]. Um sistema portuário ineficiente implica custos adicionais para os empreendimentos, criando um cenário pouco atrativo para investimento e, consequentemente, baixo crescimento econômico [8].

Este artigo visa estudar a eficiência das três companhias de docas do nordeste que integram o Sistema Portuário Nacional, com o objetivo de identificar os portos brasileiros que são mais eficientes em suas administrações financeiras. Para isso será aplicado o método *Data Envelopment Analysis* (DEA), que utiliza *inputs*(recursos) e *outputs*(saídas ou produtos) para calcular as eficiências de acordo com comparações entre as unidades avaliadas[9].

O estudo se estrutura em 5 seções: A primeira revela o peso da eficiência do Sistema portuário , a segunda seção trata da contextualização da eficiência, a terceira introduz a DEA e suas formulações, a quarta expõe a metodologia utilizada e por fim a apresentação de resultados e análises.

2. SISTEMA PORTUÁRIO

O Sistema Portuário Nacional é formado por 36 portos organizados, sendo 17 deles administrados por companhias de docas, entre eles a CDC, CODEBA e CODERN [10].Essas companhias serão objeto de estudo por estarem situadas na região Nordeste, a menos desenvolvida do país, pois, dentre as diversas funções de um porto, temos a de potencial indução ao desenvolvimento regional, além de ser uma estrutura de oferta de transporte e espaço exploratório comercial [11].Vale destacar também que cada Companhia-alvo possui compromisso com o crescimento de seus negócios, infraestrutura e desenvolvimento socioeconômico de suas respectivas regiões de influência.

O CDC em 2023 movimentou 4,5 milhões de toneladas, em sua maioria produtos agrícolas, além de conectar o Ceará a mais de 25 países [12].A CODEBA apresentou 12,751 milhões de toneladas movimentadas, de produtos diversos, como químicos e produtos agrícolas [13].A CODERN movimentou 4,96 milhões de toneladas em 2023, é a maior exportadora de sal do Brasil [14].



Figura 1: Sistema Portuário Nacional (fonte: SINCOMAM)

2.1 EFICIÊNCIA DO SISTEMA PORTUÁRIO

O crescimento do tráfego marítimo pressionou o setor portuário a atualizar e fornecer o serviço de transporte com tecnologia de ponta e aprimorar a eficiência de suas operações, isso feito para adquirir vantagens competitivas para então atrair mais tráfego de mercadorias e consequentemente aumentar a receita do porto [7].

Dada a incerteza que os portos brasileiros não atuam com a sua eficiência máxima, um estudo que calcule

essas eficiências será importante para avaliar quais os portos possuem as melhores práticas, e que podem ser utilizados como benchmarks daqueles que são ineficientes. Diante disso, é crucial que os portos operem com eficiência, alinhadas às melhores práticas de mercado, a fim de maximizar seus recursos e aumentar ao máximo o volume de carga movimentada, garantindo, consequentemente, produtividade e lucratividade [9].

O nível de eficiência do porto é diretamente proporcional à sua capacidade de movimentar com rapidez e segurança as cargas sob sua responsabilidade. Deficiências portuárias imputam perdas expressivas a empresas exportadoras e/ou de alguma forma dependentes dessa modalidade de transporte para receber/fornecer mercadorias, à medida que o porto se constitui em um fator de competitividade fundamental em muitos ramos [8].

A eficiência portuária não só pode proporcionar maior tráfego de mercadorias, como também atua direta e indiretamente estendendo seus benefícios a outros departamentos do setor, como finanças, seguros marítimos e questões logísticas, dada sua função estratégica na rede de transportes. Além disso, gera empregos e agrega valor aos produtos, consequentemente interferindo na perspectiva regional e no crescimento urbano [16].

Portanto, o setor necessita de um diagnóstico de sua situação atual, a fim de, em médio prazo, realizar um planejamento integrado, visando o incremento da qualidade do serviço prestado e uma melhor alocação dos recursos empregados.[17]

3. EFICIÊNCIA: TÉCNICA E DE ESCALA

Para contextualizar o estudo da eficiência, é necessário inserir o sistema portuário sob a perspectiva de uma unidade produtiva aplicável na DEA, essas unidades devem ser semelhantes à critério de comparação, tendo os mesmos insumos(*inputs*) e produtos(*outputs*) de variáveis, diferindo apenas na magnitude dos valores coletados para cada [18].

Eficiência é uma característica que pode se relacionar a diversos tipos de sistemas e a diversos tipos de indicadores de desempenho, logo pode ser repartida em diversos tipos de eficiência, aplicáveis em diferentes áreas de conhecimento.

Dentro da engenharia, existem tipos de eficiência, como a eficiência produtiva, que é confundida com o conceito de produtividade, dada sua relação entre input e output, mas nesse meio ela funcionaria como um indicador para a eficiência produtiva dentro desse sistema, logo quanto maior a produtividade, melhor será a eficiência. Uma grande diferença entre eles, é que produtividade pode ser um índice que agrega diferentes unidades de medidas, podendo assumir qualquer valor real, enquanto eficiência assume apenas valor adimensional entre 0 e 1.

Há outros tipos de eficiência relacionados a eficiência produtiva, como a eficiência técnica, que representa quanto da eficiência total de uma organização pode ser relacionada a fatores técnicos ou engenharia, e a eficiência de escala (econômica), que representa o quanto da eficiência total de uma organização pode ser explicada por fatores econômicos, em outras palavras operar em índices acima ou abaixo de sua escala ótimo de produção [19].

3.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA): Fundamentos, Modelagem e formulação

A DEA foi proposta em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) em seu artigo "*Measuring the Efficiency of Decision Making Units*", publicado no *European Journal of Operational Research* [20]. O método surgiu como uma extensão da teoria da eficiência de Farrell (1957), que introduziu o conceito de fronteira de produção para avaliar a eficiência técnica, em sua obra "*The measurement of productive efficiency*" [21].

A proposta da DEA é construir uma fronteira de eficiência empírica baseada nas melhores práticas observadas, permitindo comparar Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs), que utilizam múltiplos insumos (*inputs*) para produzir múltiplos produtos (*outputs*). Por ser uma modelagem não-paramétrica, a DEA não exige relação direta entre *input* e *output*, pois a fronteira de eficiência é construída a partir de combinações lineares entre as DMUs, para no fim determinar a posição delas dentro dessa fronteira formada.

As vantagens da DEA estão centradas na sua flexibilidade, ela é capaz de ser aplicada a múltiplas variáveis sem ponderações específicas como assumir distribuição de probabilidade de erros ou na eficiência, pois identifica benchmarks com base nas melhores práticas observadas. A DEA possui dois modelos: o BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984) e o CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) [22]. A formulação da DEA pode assumir duas orientações com objetivos distintos: ao *input*, com foco em minimizar os recursos mantendo nível atual de produção, e ao *output*, com foco em maximizar a produção sem aumentar insumos [23].

As fronteiras de eficiência das formulações da DEA apresentam comportamentos distintos. O modelo CCR apresenta Retornos Constantes em Escala, e o BCC considera retornos variáveis de escala, não assume proporcionalidade entre inputs e outputs e permite uma distinção entre ineficiências técnicas e de escala, ou seja, identifica se os ganhos de escala crescentes, decrescentes e constantes estão presentes para futuras análises. A imagem abaixo representa essa diferença, onde o eixo horizontal "I" representa os *Inputs* (Insumos) e o eixo vertical "O", os *outputs* (produtos ou saídas).[24]

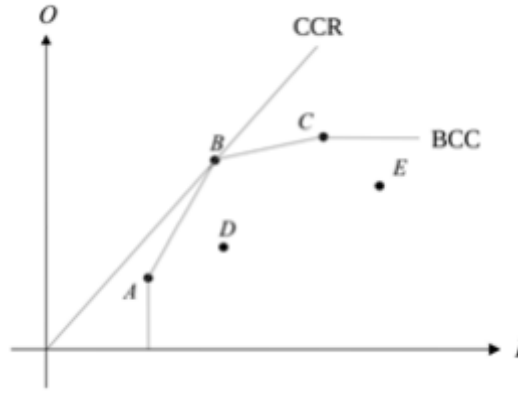


Figura 2: Representação das fronteiras CCR e BCC. (MELLO et.al.,2005).

3.2. MODELO CCR

Assume Retornos Constantes de Escala (CRS - *Constant Returns to Scale*), ou seja, um aumento nos inputs resulta em um aumento proporcional nos outputs. Sua vantagem está em capturar a eficiência técnica global, combinando eficiência técnica pura e eficiência de escala, porém não de forma separada e sua limitação está em possivelmente superestimar ineficiências caso haja Retornos Variáveis de Escala (VRS) na produção real. As equações 1 e 2 formulam a DEA com orientação ao *Input* e ao *output*, respectivamente[20].

$$\text{Maximizar } E_{fo} = \sum_{j=1}^m u_j y_{jo}$$

(1)

(u e v variáveis de decisão)

Sujeito a:

- 1) $\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1$
- 2) $\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$
- 3) $\mu_i, v_i \geq 0, \forall i, j$

$$\text{Minimizar } E_{fo} = \sum_{i=1}^r v_i x_{io}$$

(2)

(u e v variáveis de decisão)

Sujeito a:

- 1) $\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} = 1$
- 2) $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$
- 3) $\mu_i, v_i \geq 0, \forall i, j$

3.3. MODELO BCC

O Modelo BCC trata de Retornos Variáveis de Escala (VRS – *Variable Returns to Scale*), onde cada DMU apresenta retornos crescentes, decrescentes ou constantes. Ele possui formulação matemática semelhante, porém, o modelo BCC se destaca evidenciando a inclusão dos fatores de escala μ , quando for orientação a insumo, e v , quando for orientação a produto [25]. Os fatores de escala representam os interceptos dos hiperplanos suporte das faces da fronteira de eficiência, e podem assumir valores positivos, negativos ou nulos, dependendo do tipo de rendimento de escala [24]. As equações 3 e 4 apresentam a formulação da DEA orientada ao input e output, respectivamente[22].

$$\text{Maximizar } E_{fo} = \sum_{j=1}^m u_j y_{jo} + \mu_o$$

(3)

(u e v variáveis de decisão)

Sujeito a:

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

$$2) \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \mu_o \leq 0, \forall k$$

$$3) \mu_i, v_i \geq 0, \forall i, j$$

Matematicamente, quando o fator de escala “ μ ” for

- Rendimentos Crescentes em escala: acrescentar $\mu_o \geq 0$;
- Rendimentos Decrescentes em escala: acrescentar $\mu_o \leq 0$;
- Rendimentos Constantes em escala: acrescentar $\mu_o = 0$.

$$\text{Minimizar } E_{fo} = \sum_{i=1}^r v_i x_{io} + v_o$$

(4)

(u e v variáveis de decisão)

Sujeito a:

$$1) \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} = 1$$

$$2) \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + v_o \leq 0, \forall k$$

$$3) \mu_i, v_i \geq 0, \forall i, j$$

Matematicamente, quando o fator de escala “v” for

- Rendimentos Crescentes em escala: acrescentar $v_o \leq 0$;
- Rendimentos Decrescentes em escala: acrescentar $v_o \geq 0$;
- Rendimentos Constantes em escala: acrescentar $v_o = 0$.

4. METODOLOGIA

Este artigo se classifica, quanto à sua natureza e às suas aplicações revisadas, como uma pesquisa quantitativa e um estudo de caso com revisão. A pesquisa quantitativa tem como objetivo a aplicação do modelo matemático DEA, que nos permite mensurar a eficiência da gestão administrativa portuária no âmbito produtivo, enquanto o estudo de caso remete ao aprofundamento analítico a diversos contextos exploráveis específicos, expondo dados a respeito de seu desempenho [25].

A operacionalização da DEA deve seguir etapas gerais: 1) Definição das DMUs; 2) escolha do modelo de DEA (CCR ou BCC); e 3) seleção dos inputs e outputs que tenham importância para estabelecer a eficiência relativa das DMUs. Para dar início, os objetos de estudo deste artigo são as companhias de Docas do Nordeste CDC (Companhia Docas Ceará), CODEBA (Companhia Docas Bahia) e CODERN (Companhia Docas Rio Grande do Norte), e coletando seus dados em um intervalo de 8 anos para cada companhia, chegando a um total de 24 DMUs.

A escolha do modelo DEA requer o reconhecimento estrutural de diferentes portos, pois eles operam em limitações distintas, além de que cada companhia pode administrar mais de um porto, logo o modelo DEA escolhido é o BCC pois retornos variáveis de escala permitem a formação de uma fronteira de eficiência justa entre as variáveis escolhidas, além de que há trabalhos que apresentam variáveis semelhantes, demonstrados na tabela a seguir.

Quadro 1: Síntese de Trabalhos de DEA no setor portuário.(Autoria Própria).

Autores	Input	Output
Sun et al (2017)	• Número de funcionários • Custos Operacionais • Ativos fixos	• Lucro líquido • Rendimento de carga • Emissões de Nox
Castellano et al (2020)	• Investimentos • Número de funcionários • Área do terminal • Green Port Efforts (GPE)	• Movimentação granéis líquidos • Movimentação granéis sólidos • Movimentação de contêineres (TEU) • Environmental Quality Index (EQI)
Cortez et al	• Custo Operacional	• Faturamento

(2013)	- Investimento - Número de Funcionários	Carga Movimentada
--------	--	---

As variáveis escolhidas entram em consenso com os trabalhos citados, além de que vale lembrar que as informações devem ser íntegras, logo as informações referentes a cada DMU de input e output devem ser acessíveis.

Quadro 2: Inputs e outputs. (Autoria Própria).

Tipo	Variável	Descrição	Fonte
Input	Funcionários Efetivos (f efetivos)	Representa a mão de obra fixa alocada nas operações portuárias.	Relatórios de Gestão (CDC, CODEBA e CODERN) dos anos de 2016 a 2023.
	Custo Operacional (Custo_op)	Despesas com a realização das operações	
	Investimento executado (invest_exe)	Corresponde ao uso de recursos financeiros direcionados por programas de investimento da união.	
Output	Receita Operacional Líquida(ROL)	Retorno financeiro sobre os serviços prestados. Não inclui impostos e outros abatimentos.	
	Carga Movimentada (carga_mov)	Quantidade de mercadorias transportadas pelos portos.	

Nota: na coluna Variável as palavras em parênteses representam a nomenclatura utilizada no SIAD para referir-se às variáveis utilizadas.

Coletados os dados dos estudos, organizamos e analisamos os resultados. Para isso, empregamos uma ferramenta: o SIAD (Sistema de Apoio Integrado à Decisão). Após realizar um pré-processamento das informações no sentido de organizar casas decimais e absorver informações que não estejam claras, como variações na carga movimentada, o SIAD será utilizado como ferramenta de cálculo da DEA, ele permite calcular a eficiência das unidades, além de definir as unidades benchmarking para as DMUS ineficientes e os pesos das variáveis.[30]

A seguir, são ilustradas tabelas que demonstram a inserção dos dados na ferramenta SIAD, juntamente com uma breve análise estatística:

Tabela 1: DMUs, inputs e outputs referentes à CDC (Companhia de Docas Ceará).(autoria própria).

DMU	Funcionários efetivos	Custo Operacional (Mil R\$)	Investimento (Mil R\$)	ROL (mil R\$)	Carga Movimentada (Mil ton.)
CDC 2016	108	R\$27.632,00	R\$8.473,92	R\$33.883,00	4.633
CDC 2017	131	R\$36.518,00	R\$5.228,89	R\$44.987,00	4.884
CDC 2018	135	R\$39.370,00	R\$4.069,81	R\$47.147,00	4.771
CDC 2019	134	R\$44.774,00	R\$3.581,25	R\$47.921,00	4.380
CDC 2020	120	R\$39.399,00	R\$84,79	R\$50.935,00	4.905
CDC 2021	115	R\$39.275,00	R\$1.184,24	R\$55.615,00	4.842
CDC 2022	115	R\$39.445,00	R\$6.108,39	R\$61.135,00	4.289
CDC 2023	118	R\$44.518,00	R\$4.953,58	R\$89.785,00	4.542

Ao analisar previamente a média de algumas variáveis nesse período, busca-se que os valores sejam maiores(para os *outputs*) ou menores(*inputs*) entre si à critério de correções monetárias ou de produtividade, em pelo menos, 4 anos para cada companhia.

A média de carga movimentada pelo CDC nesse período foi de 4656 mil toneladas, rendendo uma receita operacional líquida média de R\$53.926,00 mil. Para os Inputs o custo médio das operações foi de R\$38.866,38 mil, menor em 7 anos, e a média de funcionários foi de 122 efetivos, menor apenas em 3 anos.

No ano de 2022 a CDC apresentou o menor número de carga movimentada, mas teve a segunda maior receita operacional líquida, e o segundo maior número de funcionários. No ano de 2016, a companhia teve menor receita operacional líquida e também o menor número de funcionários efetivos, mas possuiu o maior valor de investimento executado.

Tabela 2: DMUs, inputs e outputs referentes à CODEBA (Companhia de Docas Bahia).(autoria própria).

DMU	Funcionários efetivos	Custo Operacional (Mil R\$)	Investimento (Mil R\$)	ROL (mil R\$)	Carga Movimentada (Mil ton.)
CODEBA 2016	299	R\$64.231,85	R\$8.324,72	R\$129.479,01	11.100
CODEBA 2017	372	R\$77.746,24	R\$4.946,52	R\$124.902,97	11,862
CODEBA 2018	326	R\$84.393,54	R\$4.202,95	R\$117.900,00	11,448
CODEBA 2019	318	R\$81.529,00	R\$3.548,07	R\$138.646,00	11.297
CODEBA 2020	269	R\$83.280,00	R\$7.961,86	R\$139.999,05	11.638
CODEBA 2021	273	R\$97.432,20	R\$9.276,61	R\$176.336,98	13.491
CODEBA 2022	278	R\$82.866,60	R\$25.332,86	R\$176.096,74	12.651
CODEBA 2023	271	R\$86.307,00	R\$20.830,82	R\$247.904,45	12.752

Para a CODEBA a receita operacional média foi de R\$156.408,15 mil, maior em 5 anos, porém o mesmo não ocorre para a carga movimentada média, com 9119 mil ton. , menor que todos os anos. Em seus *inputs*, o custo operacional médio foi de R\$60.646,55 mil, inferior em todo período, assim como a carga movimentada. Já a média dos funcionários efetivos só é menor em 3 anos, com 301 trabalhadores.

Em 2021 a companhia teve seu maior valor de carga movimentada, mas também o maior valor de custo das operações. O maior valor de Receita Operacional Líquida gerado pela companhia foi em 2023, que tem o segundo menor número de funcionários efetivos. O ano em que a companhia mais empregou foi 2017, aumentou sua carga movimentada, mas teve menos Receita operacional líquida, menos investimento executado e custo operacional maior com relação ao ano antecedido.

Tabela 3: DMUs, inputs e outputs referentes à CODERN. (autoria própria).

DMU	Funcionários efetivos	Custo Operacional (Mil R\$)	Investimento (Mil R\$)	ROL (mil R\$)	Carga Movimentada (Mil ton.)
CODERN 2016	291	R\$63.524,00	R\$18.942,00	R\$53.882,00	4.761
CODERN 2017	286	R\$68.151,00	R\$892,53	R\$44.635,67	4.770
CODERN 2018	301	R\$65.140,00	R\$2.429,93	R\$53.326,00	4.957
CODERN 2019	299	R\$58.419,00	R\$6.561,23	R\$53.155,00	4.659
CODERN 2020	288	R\$47.893,00	R\$9.310,89	R\$67.487,00	4.381
CODERN 2021	272	R\$55.729,00	R\$11.102,13	R\$77.929,00	4.761
CODERN 2022	187	R\$63.496,00	R\$42.374,12	R\$93.514,80	5.200
CODERN 2023	178	R\$38.097,60	R\$8.874,08	R\$90.709,36	4.987

A CODERN teve uma receita operacional líquida média de R\$66.829,85 mil, diferindo o comportamento em relação às outras companhias em apenas 1 ano de diferença, já a carga movimentada média foi de 4.809 mil ton. superando 5 dos 8 anos.

Para a CODERN, o número médio de funcionários efetivos foi 263 pessoas, maior que os 187 funcionários necessários em 2022 para o valor máximo de movimentação de carga no intervalo estudado.

O ano de 2023 possui o menor valor de custo operacional e funcionários efetivos, mas tem o segundo maior valor de Receita Operacional Líquida e de carga movimentada. Em 2018 a companhia tem sua maior força de trabalho com 301 funcionário efetivos e segundo maior valor de custo operacional, atrás do valor de 2017.

4.1.SENSIBILIDADE DA FRONTEIRA

Observando a coluna de investimento, notamos valores discrepantes entre os anos, em comparação com as demais colunas. O tipo de investimento escolhido para estudo se refere ao orçamento ofertado pelo programa “Transporte Aquaviário”, onde as companhias executam parte dele para expansão de seus negócios, logo é uma variável volátil em comparação às demais, além de que os valores executados podem se dar em função da diferença de escala entre os portos que cada companhia administra.

Por ser um longo período, vários acontecimentos podem interferir na saúde financeira, que diz respeito a 3

variáveis dos nossos dados, podendo ser, em geral, corte ou limitação de gastos da união, ou alta inflação de liquidez.

Para isso também será realizado um teste de sensibilidade da fronteira removendo DMUs que apresentem valores discrepantes e analisando as alterações no comportamento da fronteira formada pelo modelo.

5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inseridas as DMUs, *inputs*, *outputs* e selecionando modelo BCC com orientação ao output, o SIAD nos retorna, em seu cálculo, a tabela que representa a fronteira de eficiência das nossas DMUs. A partir delas faremos análise para tirar nossas conclusões sobre o desempenho do sistema portuário estudado.

As DMUs que apresentam valor 1 compõem a fronteira de eficiência e operam em escala ótima, enquanto os valores mais distantes de 1 e mais próximos de 0 expõem a longevidade da fronteira, indicando ineficiência relativa.

Tabela 4: escores de eficiência, no modelo BCC orientado ao output. (Autoria própria).

DMU	Padrão	DMU	Padrão	DMU	Padrão
CDC_2016	1	CODERN_2016	0,436329	CODEBA_2016	1
CDC_2017	0,89959	CODERN_2017	0,745801	CODEBA_2017	1
CDC_2018	0,850333	CODERN_2018	0,553046	CODEBA_2018	0,990846
CDC_2019	0,740553	CODERN_2019	0,481019	CODEBA_2019	1
CDC_2020	1	CODERN_2020	0,616553	CODEBA_2020	0,966196
CDC_2021	1	CODERN_2021	0,577351	CODEBA_2021	1
CDC_2022	0,918356	CODERN_2022	0,619433	CODEBA_2022	1
CDC_2023	1	CODERN_2023	1	CODEBA_2023	1

Posto isso, vemos que o CDC operou em escala ótima nos anos de 2016,2020,2021 e 2023, com quedas de desempenho em 2017 a 2020.A CODERN apresenta os piores desempenhos dentro da fronteira com o menor valor de benchmark em 2016 e o melhor em 2023.A CODEBA, por sua vez apresenta os melhores escores, embora tenha quedas leves no desempenho em 2018 e 2020.[19]

5.1.SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS

Ao remover a DMU discrepante(CDC_2020), o resultado geral sobre o desempenho das companhias manteve o mesmo, com a única diferença de que a DMU CODERN 2017 operária com eficiência, mesmo respondendo com a menor Receita Operacional líquida no ano correspondente. É correto afirmar que a discrepância do valor de R\$84,79 mil pode ser considerado um ponto fora da curva e interfere na formação da fronteira de forma leve, pois as outras variáveis da DMU respondem bem a essa interferência por estarem próximas a valores médios.

5.2.FOLGAS E ALVOS

Além do cálculo de escores, o SIAD também oferece escores de folgas, que são lacunas nas variáveis que podem atrapalhar o desempenho de uma DMU, seja representando a quantidade de um insumo que pode ser reduzida ou de um produto que pode ser aumentado sem que haja alteração nos níveis dos demais insumos e produtos, para que a DMU atinja a fronteira de eficiência.

As folgas surgem quando ainda há ineficiência mesmo após ajuste proporcional, sendo esse ajuste um aumento de todos os *outputs* ou redução de todos os *inputs*, podemos chamar isso de ajuste radial, pois é uma melhoria que ocorre ao longo de um “raio” em direção à fronteira. A tabela a seguir exibe os ajustes radiais e folgas nas variáveis que podem apontar ineficiência.[31]

Na orientação ao output, as folgas indicam o quanto uma DMU ineficiente poderia aumentar seus produtos para alcançar a fronteira de eficiência, mantendo os demais níveis de insumos e operações, caso ainda haja possibilidade não-radial.

Sabendo disso, podemos absorver insights importantes sobre os resultados:

- CDC(0,74 - 0,90): A companhia deixou de aumentar sua receita em 13,24 %, 18,11% e 39,98% nos anos de 2017, 2018 e 2019 respectivamente. Ela também poderia ter reduzido seus custos em 0,43% em 2019 e 0,15% em 2022,o menor percentual da tabela para chegar até o valor alvo .

- CODERN(0,43 - 0,74): Além de ter os menores escores de eficiência, a CODERN também poderia ter arrecadado de 59,94% a 136,73% a mais entre os anos de 2016 a 2019, tendo o maior percentual para alcançar o valor alvo para a variável. É a única companhia que apresenta folgas em funcionários efetivos, com subutilização de no mínimo 13,69% e no máximo 41,90% do *input*. Sobre custo operacional, a companhia poderia ter gastado 27,77% a menos em 2017 e 2,48% a menos em 2022.
- CODEBA(0,96- 0,99): Mesmo sendo a companhia com melhor desempenho demonstrado por suas DMUs, a CODEBA apresenta folgas em ROL nos anos de 2018 e 2020, com aumento necessário de 17,31% e 8,50% respectivamente, para atingir valores alvos. Sua única folga em *input* foi nos custos operacionais, com 3,08% de redução total necessária para atingir o valor alvo.
- Não foi observada folga para a carga movimentada, isso pode ser explicado pelo alvo ser compensado pela possibilidade de variação radial, como por exemplo as DMUs referentes a CODEBA (todas, incluindo as eficientes) não possuem folga em investimento executado ou funcionários efetivos, pois o valor atual dessas variáveis já está em consenso com o alvo ou pode atingi-lo com ajuste radial.
- Em 2023 todas as companhias operaram com eficiência, mas apenas CODEBA e CDC apresentaram recordes em um de seus outputs, no caso, ambas tiveram valores máximos de Receita Operacional Líquida(ROL).

Tabela 5: Folgas de DMUs que não atingiram a Fronteira de eficiência. (Autoria Própria).

DMU	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
CDC_2017	ROL	44.987,00	50.008,35	936,79714	50.945,15
CDC_2018	ROL	47.147,00	55.445,36	239,428571	55.684,79
CDC_2019	Custo_op	44.774,00	44.774,00	193,320212	44.580,68
CDC_2019	ROL	47.921,00	64.709,74	2.372,31	67.082,05
CDC_2022	Custo_op	39.445,00	39.445,00	58,430992	39.386,57
CDC_2022	invest_exe	6.108,39	6.108,39	1.885,95	4.222,44
CODERN_2016	invest_exe	18.942,00	18.942,00	9.992,27	8.949,73
CODERN_2016	ROL	53.882,00	123.489,53	4.065,81	127.555,33
CODERN_2017	f_efetivos	286	286	119,820505	166,179495
CODERN_2017	Custo_op	68.151,00	68.151,00	18.926,03	49.224,97
CODERN_2017	ROL	44.635,67	59.849,27	11.542,54	71.391,82
CODERN_2018	f_efetivos	301	301	50,403659	250,596341
CODERN_2018	ROL	53.326,00	96.422,44	7.316,64	103.739,09
CODERN_2019	f_efetivos	299	299	40,920998	258,079002
CODERN_2019	ROL	53.155,00	110.505,07	859,596704	111.364,66
CODERN_2020	f_efetivos	288	288	71,120709	216,879291
CODERN_2021	f_efetivos	272	272	47,340481	224,659519
CODERN_2022	Custo_op	63.496,00	63.496,00	1.573,59	61.922,41
CODERN_2022	invest_exe	42.374,12	42.374,12	31.387,15	10.986,97
CODEBA_2018	Custo_op	84.393,54	84.393,54	2.596,88	81.796,66
CODEBA_2018	ROL	117.900,00	118.989,22	19.324,74	138.313,96
CODEBA_2020	ROL	139.999,05	144.897,23	7.001,48	151.898,71

Analisar as folgas são importantes para detectar as possíveis áreas de melhoria, da mesma forma que o escore de eficiência retorna desempenho, as folgas apontam “onde” há ineficiência, porém existem limitações, pois como mencionado anteriormente elas são lacunas de oportunidade para melhoria, são superficiais e não detalham causas ou raízes que fogem do sistema ou escopo de estudo da DEA, sendo sensível a fatores qualitativos e externos.

A tabela a seguir mostra o percentual dos menores e maiores valores atuais das variáveis e seu respectivo DMU necessitam ajustar para operarem com eficiência, lembrando que para os *inputs* o valor indica necessidade de redução e para os *outputs*, de aumento.

Tabela 6: Menores e Maiores valores percentuais de subutilização de insumos e possibilidade de aumento de produtos.(Autoria própria).

Variável	Valor Mínimo (%)	DMU	Valor Máximo(%)	DMU
f_ evetivos	13,69%	CODERN_2019	41,90%	CODERN_2017
Custo_Op	0,15%	CDC_2022	27,77%	CODERN_2017
invest_exe	30,87%	CDC_2022	74,07%	CODERN_2022
ROL	8,50%	CODEBA_2020	136,73%	CODERN_2016
carga_mov	0,92%	CODEBA_2018	129,19%	CODERN_2016

6. CONCLUSÃO

Embora limitado apenas a análises quantitativas, e que não tem precisão “cirúrgica” sobre causas e oportunidades na questão que envolve produtividade e eficiência, o presente estudo alcançou o seu objetivo de avaliar a eficiência do sistema portuário brasileiro dentro da região Nordeste.

A aplicação da DEA no modelo BCC foi consistente com o propósito a expor as unidades eficientes, além disso, através do SIAD foi possível visualizar oportunidades de melhorias com ajustes radiais e folgas de ineficiência, que pela orientação ao output evidenciou a possibilidade do aumento Receita líquida em todas as companhias de Docas em pelo menos 2 dos 8 anos.

O trabalho desse estudo contribui no fornecimento de métricas e análises descritivas de variáveis trabalhadas em grandes estruturas, e de maioria com cunho financeiro. A sugestão para futuros estudos é testar com orientação ao *input*, ou aplicar outros modelos não paramétricos com orientações variáveis em escala, ou aliar a DEA a estudos que combinem o estudo da eficiência de um sistema produtivo com planejamento financeiro ou gestão de recursos.

Dito e posto, a DEA e suas ferramentas, como o SIAD, demonstram consistência para a avaliação da eficiência do sistema portuário, oferecendo aplicação prática para planejamento e gestão estratégica, com o intuito de promover desenvolvimento regional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]GOULARTI FILHO(2007)Melhoramentos, reaparelhamentos e modernização dos portos brasileiros: a longa e constante espera. Economia e Sociedade, Campinas, v. 16, n. 3 (31), p. 455-489, dez. 2007.
- [2]KAPPEL,Sérgio(2007). PORTOS BRASILEIROS:NOVO DESAFIO PARA A SOCIEDADE. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência.Ministério do Trabalho e Emprego. Acesso em: <https://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/conf_simp/textos/raimundokappel.htm> .
- [3]Agência Nacional de Transportes Aquaviários(ANTAQ).Recorde nos portos: setor aquaviário movimentou mais de 1,32 bi de toneladas em 2024. Assessoria de Comunicação Social, Ministério dos Portos e Aeroportos,2025.
- [4]GABRIEL CORREA. 80% das mercadorias no mundo são transportadas em navios, diz ONU. Rádio Agência EBC,São Luís (MA), 2023. acesso em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/economia/audio/2023-01/80-das-mercadorias-no-mundo-sao-transportadas-em-navios-diz-onu>>
- [5] WORLD BANK; S&P GLOBAL MARKET INTELLIGENCE. Container Port Performance Index 2022: a global assessment of port performance. Washington, D.C.: World Bank, 2023.
- [6]Oliveira, Nayara(2014).DIREITO MARÍTIMO: Antes e depois da nova lei de modernização dos portos. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha,Rio de Janeiro,2014.
- [7]Christo, Murilo(2022)EFICIÊNCIA DOS PORTOS PÚBLICOS BRASILEIROS: UMA ANÁLISE REGIONAL CONSIDERANDO A COMPLEXIDADE DAS OPERAÇÕES PORTUÁRIAS. INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Cariacica,2022.
- [8] Uderman, S., Rocha, C. H. and Cavalcante, L. R. (2012) MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA PORTUÁRIO NO BRASIL: Uma proposta metodológica.Journal of Transport Literature, vol. 6,UNEB,UNB,IPEA, n. 1, pp. 221-240.2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jtl/a/zjjDGbvGLDsXFKhg748p33D/#.>>.
- [9] Torres et al,2016;ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS PORTOS BRASILEIROS UMA ABORDAGEM PELO MÉTODO NETWORK DEA, Research Gate,Universidade Federal Fluminense,2016.Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/310613229>>
- [10] ANTAQ. Sistema Portuário Nacional. Ministério da infraestrutura ,2020(atualizado em 2024). Disponível

- em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/sistema-portuario>
- [11] Arruda e Bastos(2001).Portos: Instrumentos Estratégicos Para o Desenvolvimento Regional. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 32, n. 4, p. 1010-1027, out-dez. 2001
- [12] Companhia de Docas Ceará. Relatórios de gestão(2016-2023). acessado em: <https://www.docasdoceara.com.br/_files/ugd/a321a8_a3ab2052e1e146bebbba10057728f5bb7.pdf>
- [13] Companhia de Docas Bahia. Relatórios de gestão(2016-2023). acessado em: <<https://www.codeba.gov.br/eficiente/repositorio/LAI%20-%20Lei%20de%20Acesso%20a%20Informacao/Auditoria/relatorio-da-administracao/relatorios-anuais/22287.pdf>>
- [14] Companhia de Docas Rio Grande do Norte. Relatórios de gestão(2016-2023). acessado em: <https://www.codern.com.br/userfiles/files/relato%CC%81rio%20integrado.pdf>
- [15] Sindicato Nacional dos Condutores da Marinha Mercante e Afins. Sistema Portuário Nacional. Acessado em:<https://www.sincomam.org.br/index.php/portos-e-terminais-do-brasil/>
- [16] Merk, O., Dang, T. (2012) “Efficiency of world ports in container and bulk cargo (oil, coal, ores and grain)”, OECD.Regional Development Working Papers, 2012/09, OECD Publishing. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1787/5k92vgw39zs2-en>>
- [17] Sousa Junior et al(2013).Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. UFC,UFF. Journal of Transport Literature.Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jtl/a/xb3FYGbYc34r3JQgmnGhWMx/abstract/?lang=pt#>>
- [18] Kassai, Sílvia(2002).Utilização da análise envoltória de dados na análise de demonstrações contábeis. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP II,2002. Título CDD –657.
- [19] MARIANO,ENZO(2008).Sistematização e Comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva. Dissertação(Mestrado),Escola de engenharia de São Carlos, USP-SP
- [20] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444.
- [21] Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, 120(3), 253-290.
- [22] BANKER, Rajiv D.; CHARNES, Abraham; COOPER, William Wager. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management science, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- [23] PEÑA, C. Um Modelo de Avaliação da Eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envoltória de Dados (DEA).A Model of Evaluation of the Efficiency of the Public Sector through the Method Data Envelopment Analysis (DEA).Revista de Administração Pública(RAC), Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, Jan./Mar. 2008 . [S.l.: s.n.].
- [24] MELLO J. C. B. S. et. al. Curso de análise de Envoltória de Dados. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, Gramado, Anais, 2005.
- [25] Carvalho et al, 2016.Análise por Envoltória de Dados no Setor Bancário: variáveis de entrada/input e saída/output mais utilizadas. acessado em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n03/17380317.html>
- [26] VERGARA, Sylvia Constant. Projetos e relatórios de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2006.
- [27] FERREIRA, C. M. d. C.; GOMES, A. P. Introdução a Análise Envoltória de Dados: Teoria, Modelos e Aplicações. 1a ed. ed. [S.l.]: Editora UFV, Minas Gerais, 2009.
- [28] SUN, J.; et al. Performance evaluation of Chinese port enterprises under significant environmental concerns: An extended DEA-based analysis. Transport Policy, v. 60, p. 75– 86, 1 nov. 2017. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X17300410>>
- [29] CASTELLANO, R.; et al. Evaluating the economic and environmental efficiency of ports: Evidence from Italy. Journal of Cleaner Production, v. 271, 20 out. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262032607X>>
- [30] Cortez, LCS et al, 2013.Análise de eficiência na gestão de portos públicos brasileiros em relação ao papel das autoridades portuárias. Journal of Transport Literature,Sociedade Brasileira de Planejamento dos Transportes.2013. acesso em : <https://www.scielo.br/j/jtl/a/w9SZ6N9Gj7vbKxkrfNK7qgb/abstract/?lang=pt#>
- [31] ANGULO MEZA et al (2005). Free software for decision analysis: a software package for data envelopment models. In: 7th International Conference on Enterprise Information Systems – ICEIS 2005, v. 2, p. 207-212.Disponível em: <http://tep.uff.br/wp-content/uploads/sites/154/2018/06/FreeSoftwareC2_239_Meza.pdf>
- [32] Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. Springer Science & Business Media. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221702003041?via%3Dihub>>