

**APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DOS
PROCESSOS ESTRATÉGICOS DE INOVAÇÃO APLICADOS AO ESTUDO
DE CASO DE EMBARCAÇÕES *OFFSHORE* DA PETROBRAS**

Gustavo da Silva Maciel

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S/A
Av. Elias Agostinho, 340, Imbetiba, Macaé-RJ
gustavomaciel@petrobras.com.br

Lidia Angulo Meza

UFF – Universidade Federal Fluminense
Escola de Engenharia, São Domingos, Niterói-RJ
lidia_a_meza@pq.cnpq.br

Resumo

O presente artigo apresenta um estudo de caso de utilização de DEA em processos licitatórios. Nesse caso foi utilizado um modelo DEA clássico, com uso da Fronteira Invertida para determinação do *ranking* das propostas em processos licitatórios. Para aplicar a metodologia proposta foi utilizado o Estudo de Caso de contratação de embarcações de apoio marítimo da Petrobras para estabelecimento do *ranking* das embarcações concorrentes. Os resultados são discutidos e analisados para verificar vantagens e desvantagens da metodologia proposta, considerando processos estratégicos de inovação. Destaca-se que pode ser considerada inovadora a aplicação de DEA para determinação do *ranking* final em processos licitatórios, dado que permite desenvolver uma nova tecnologia de apoio à tomada de decisão que busca a otimização de processos de contratação, buscando no mercado recursos mais eficientes, representando assim maiores oportunidades de aumento de lucratividade do negócio abordado no Estudo de Caso.

Palavras-chave: DEA; Processos Licitatórios; Inovação.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Neste artigo é realizada uma aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) em processos licitatórios para determinação do *ranking* final das propostas concorrentes em cada licitação. Tal aplicação pode ser considerada um processo de inovação que será analisada com base nos conceitos desenvolvidos por Christensen (2003) e Teece (1986).

A aplicação DEA pode ser considerada uma alternativa ao processo de contratação atual utilizado no Brasil. Para realizar tal trabalho, foi feita uma pesquisa bibliográfica de como são conduzidos os processos licitatórios no mundo, através da qual pode ser observado o ineditismo da aplicação de DEA para determinação do *ranking* das propostas concorrentes.

A metodologia DEA proposta envolve o uso do modelo CCR, aliado a Fronteira Invertida, com índice da eficiência composta, o qual é utilizado para obter o *ranking* final das propostas concorrentes nos processos licitatórios.

Essa metodologia foi aplicada no estudo de caso de contratação de embarcações *offshore* da Petrobras, a fim de auxiliar à tomada de decisão na contratação de embarcações de apoio marítimo da referida empresa, através da obtenção de um *ranking* final do processo licitatório, considerando critérios técnicos e econômicos.

Como será visto mais adiante neste trabalho, para modelagem do Estudo de Caso, as DMUs, Unidades para Tomada de Decisão, serão as propostas concorrentes na licitação (embarcações de apoio) – entre as quais se deseja selecionar a vencedora – e as variáveis serão os requisitos econômicos (preço, inclusive) e técnicos através dos quais as DMUs serão comparadas. Cabe ressaltar que será possível observar as características inovadoras da aplicação da metodologia para determinação do *ranking* final em processos licitatórios e como a mesma proporcionará ganhos para a empresa descrita no Estudo de Caso.

2 METODOLOGIA

2.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Originalmente elaborada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), *Data Envelopment Analysis* (DEA) ou Análise Envoltória de Dados é uma técnica que, a partir de dados observados, utiliza recursos de programação linear para mensurar o desempenho e que tem como objetivo principal determinar a eficiência de unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* - DMUs) que transformam insumos em produtos (Bougnol et al., 2009). Ainda segundo Bougnol et al. (2009), a Análise Envoltória de Dados pode ser interpretada como uma generalização natural de práticas elementares de avaliação de eficiência e desempenho, já utilizadas em diversas áreas. Em outras palavras, DEA não faz nada além de utilizar conceitos de avaliação já consolidados no mundo real de negócios para tomada de decisão.

Ao contrário dos chamados métodos paramétricos, a Análise Envoltória de Dados não pressupõe uma relação funcional pré-definida entre os recursos e o que foi produzido (Soares de Mello et al., 2005). Além disso, formalmente, DEA prima por ser uma metodologia de fronteira e, não, de tendência central (Cooper et al., 2000). Portanto, é diferente de métodos paramétricos como a Análise de Regressão porque não desconsidera pontos (DMUs) “*outliers*”, ou seja, que se localizam fora de uma linha de tendência. Ao contrário, em DEA esses pontos “fora da curva” também compõem a medida de eficiência de cada DMU já que considera que o máximo que poderia ter sido produzido foi obtido por meio da observação das unidades mais produtivas (Soares de Mello et al., 2005).

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

A Análise Envoltória de Dados, por conseguir compor uma única medida (eficiência), a partir de várias variáveis (insumos e produtos) não necessariamente correlacionadas, para comparação relativa das diferentes unidades de produção, DEA tem encontrado crescente aplicação. Importante salientar que em DEA o termo produção possui sentido amplo e não está necessariamente relacionado a nenhum tipo de produção física (Soares de Mello *et al.*, 2008). Além disso, uma vantagem de DEA é o fato de ela permitir que as variáveis (recursos e produtos) com que as DMUs serão comparadas sejam quaisquer, desde que sejam quantitativas e iguais para todas elas (unidades monetárias, recursos humanos, etc.).

2.2 MODELO CCR

Em 1978, Charnes, Cooper e Rhodes formalizaram o modelo inaugural de DEA: o modelo CCR. O modelo CCR é um modelo multidimensional (múltiplos recursos e múltiplos produtos) que constrói uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados (Soares de Mello *et al.*, 2005). Ele está baseado no conceito de retornos constantes de escala (fronteira CRS – *Constant returns of scale*), isto é, qualquer variação nos insumos (*inputs*) produz variação proporcional nos produtos (*outputs*). Dependendo do objetivo da modelagem e do caso modelado, o modelo CCR poderá tomar as seguintes orientações: orientação a *inputs* ou orientação a *outputs*.

O modelo CCR orientado a *inputs* determina a eficiência pela otimização da divisão entre a soma ponderada das saídas (*output* virtual) e a soma ponderada das entradas (*input* virtual), assim como apresentado em (1).

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Eff_0 &= \left(\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} \right) \\
 \text{s.a.} & \\
 \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} &\leq 1, \forall k \\
 v_i, u_j &\geq 0, \forall i, j
 \end{aligned} \tag{1}$$

Onde:

Eff_0 - representa a eficiência da DMU 0 em avaliação;

u_j - representa o peso do *output* j da DMU 0, $j = 1, \dots, s$;

v_i - representa o peso do *input* i da DMU 0, $i = 1, \dots, r$;

y_{jk} - representa o *output* j da DMU k, $\forall k$ e $j = 1, \dots, s$;

x_{ik} - representa o *input* i da DMU k, $\forall k$ e $i = 1, \dots, r$;

y_{j0} - representa o *output* j da DMU 0, $j = 1, \dots, s$;

x_{i0} - representa o *input* i da DMU 0, $i = 1, \dots, r$;

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

O modelo (1) permite que cada DMU escolha os pesos para cada variável (recursos e produtos) da forma que lhe for mais benevolente, desde que esses pesos aplicados às outras DMUs não gerem uma razão superior a 1 (Soares de Mello *et al.*, 2005). Na verdade, nesta formulação matemática, os pesos (u_j e v_i) são as variáveis de decisão. Assim sendo, obtém-se o resultado, isto é, chega-se ao valor dessas variáveis de decisão de acordo com a função objetivo. Esta formulação é chamada do modelo dos multiplicadores, porque encontra os pesos que multiplicam as variáveis.

A primeira restrição descrita no modelo (1) é aplicada tantas vezes quanto o número de DMUs, ou seja, é uma restrição para cada DMU (Soares de Mello *et al.*, 2005). Além disso, é necessário impor a restrição de não negatividade dos pesos u_j e v_i (variáveis de decisão). Enquanto isso, a função objetivo maximiza a eficiência DMU 0 em análise, isto é maximiza a razão entre os *outputs* e *inputs*.

2.3 MÉTODO DA FRONTEIRA INVERTIDA

Apesar das vantagens dos modelos DEA, sobretudo em relação aos modelos paramétricos, os modelos DEA (CCR e BCC) geralmente resultam em um grande número de DMUs eficientes. Isso porque, pela formulação matemática, eles tendem a ser benevolentes com as unidades de produção avaliadas (o BCC ainda mais que o CCR) (Soares de Mello *et al.*, 2005). As principais razões para pouca discriminação entre as DMUs são as seguintes (Angulo Meza e Lins, 2002):

- O número de DMUs é pequeno em relação ao número total de variáveis em análise;
- Uma imprecisão ou inadequação no cálculo dos pesos, que pode ser irreal, dando um peso grande para variáveis com menos importância ou dando um peso muito pequeno (ou zero) para variáveis importantes;
- Multiplicidade de soluções ótimas na atribuição de pesos de DMUs fortemente eficientes.

De acordo com Angulo Meza e Lins (2002), para solucionar o problema de pouca discriminação de DEA, há dois grandes grupos de métodos: um grupo cujos métodos demandam a incorporação de informações *a priori* sobre as variáveis (opinião dos tomadores de decisão, por exemplo), que é o caso do método de restrição aos pesos; e outros que não usam tais informações para o cálculo, que é o caso do método da avaliação cruzada.

Posteriormente outros métodos foram propostos, que é o caso do Método da Fronteira Invertida. Baseado no conceito de *ranking* das DMUs ineficientes, encontrado em Addler (2002), o método da Fronteira Invertida foi proposto inicialmente por Yamada et al. (1994), num artigo publicado em japonês, e posteriormente ilustrado por Entani et al. (2002), os quais denominavam o método de IDEA (“*Inverted DEA*”).

O método da Fronteira Invertida, de acordo com Soares de Mello et al. (2008), é obtido com a inversão entre *inputs* e *outputs*. Tal método possui duas interpretações: a primeira é uma análise que conjuga os resultados da fronteira padrão do modelo CCR com a Fronteira Invertida, com isso, a Fronteira Padrão benevolente destaca só as características positivas e a Fronteira Invertida destaca as características negativas; já a segunda interpretação é a fronteira formada pelas DMUs com as piores práticas, ou as DMUs eficientes com a ótica invertida. Tal

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

fato pode ser melhor observado em Lins et al. (2005), cujo trabalho aplicou a Fronteira Invertida na interpretação de duas óticas diferentes, vendedor e comprador de imóveis, concluindo que as mesmas variáveis são *inputs* e *outputs* diferentes para as duas óticas.

Além disso, o método da Fronteira Invertida faz com que não seja permitida a especialização das DMUs. Esta especialização é permitida pelos modelos CCR e BCC ao permitir que pesos zeros sejam dados às variáveis na análise. Assim, algumas DMUs têm seus pesos não nulos somente em algumas variáveis. A fronteira invertida anula esse efeito destacando também variáveis nas quais as DMUs não tem bom desempenho. Por essa fronteira, as DMUs eficientes são, justamente, as que apresentam os piores desempenhos (fronteira ineficiente) (Soares de Mello *et al.*, 2005).

Com efeito, para os fins deste trabalho, será adotado, conforme conveniência, um índice de eficiência (eficiência composta) que conjuga os aspectos positivos e negativos de cada DMU (média aritmética da eficiência segundo as óticas otimista e pessimista, observada em (6)) (Soares de Mello *et al.*, 2008).

$$Eficiência_{composta} = \frac{Eficiência_{padrão} + (1 - Eficiência_{invertida})}{2} \quad (2)$$

De acordo com Soares de Mello et al. (2008), o modelo (2) representa um índice que considera a avaliação pela fronteira invertida e que permite uma classificação completa das unidades em estudo. Esse índice é chamado de índice de eficiência composta e é definido pela média aritmética entre a eficiência em relação à fronteira DEA convencional (padrão) e o complemento da eficiência em relação à fronteira invertida, cujo uso é justificado pelo fato da fronteira invertida gerar uma medida de ineficiência.

2.4 PROCESSOS ESTRATÉGICOS DE INOVAÇÃO

De acordo com Christensen (2003), o desafio para grandes empresas é reconstruir o navio enquanto navegam em mar aberto, em vez de recolhê-lo ao estaleiro e desmontá-lo da quilha à gávea, ao mesmo tempo em que alguém mais atento constrói nova embarcação mais veloz, com o que foi atirado ao mar como entulho.

Portanto, desenvolver novas tecnologias que buscam a otimização de processos de contratação, buscando no mercado recursos mais eficientes e que tenham o melhor custo, representam oportunidades de aumento de lucratividade do negócio. Segundo Christensen (2003), a fabricação de produtos ou o desenvolvimento de processos altamente diferenciados, com fortes vantagens de custo, é licença para imprimir dinheiro no futuro.

Baseado em Teece (1986), quando o processo de inovação possui estratégia integrada e sustentável, é possível gerar através do mesmo retorno econômico significativo.

Embora se compreenda que os executivos estejam obcecados por formular a estratégia certa, eles realmente conseguem obter maior alavancagem por meio do gerenciamento do processo utilizado para desenvolver a estratégia – garantindo a utilização do processo certo nas circunstâncias certas, buscando o mix de estratégias emergentes e deliberadas (CHRISTENSEN, 2003).

A estratégia deliberada é um processo de formulação consciente e analítica da estratégia. Com isso, resulta em projetos com início e fim nítidos e que são implementados de “cima para baixo”; já a estratégia emergente é o tipo de estratégia de “baixo para cima”, trata-se

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

de decisões táticas e rotineiras tomadas por pessoas cujo estado mental não é visionário, futurístico ou estratégico.

Conforme Christensen (2003), quando se reconhece a eficácia da estratégia resultante de um processo emergente, é possível transformá-la em uma estratégia deliberada.

Os conceitos abordados nesta seção serão utilizados para fazer uma análise na seção 5.3, após aplicação no Estudo de Caso da metodologia abordada nas seções 2.1, 2.2 e 2.3.

3 ESTADO DA ARTE EM PROCESSOS LICITATÓRIOS

Na elaboração de licitações, mesmo que com objetivos distintos, atualmente contrata-se a proposta que representa o menor valor ofertado, ou seja, que corresponde a princípio ao menor valor a ser gasto pelo órgão público, comumente chamado de valor do dinheiro (Ohno e Harada, 2006).

Entretanto, existe uma tendência crescente de se permitir mais liberdade na análise da capacidade dos fornecedores (ofertantes do processo licitatório), já que nem sempre a menor oferta pode ser exequível do ponto de vista técnico (Leenders *et al.*, 2006).

Assim foi realizada uma pesquisa bibliográfica de aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) em processos licitatórios. Segundo Zhu *et al.* (2007), a utilização de técnicas de DEA pode auxiliar na definição dos pesos, já que tal etapa baseada em DEA não sofre interferência do decisor.

Neste contexto, segundo Saranga (2007), durante as duas últimas décadas, DEA estabeleceu-se como uma ferramenta muito útil para estimar a eficiência do desempenho das unidades de decisão (DMU), tanto no setor público quanto no setor privado.

De acordo com Lorentziadis (2010), métodos de Análise Envoltória de Dados têm sido amplamente aplicados na avaliação da competência e do desempenho de fornecedores. DEA produz dois grupos de licitantes: eficientes e ineficientes; e por essa razão, pode ser usado como um primeiro estágio de pré-qualificação para o método de seleção dos licitantes (Narasimhan *et al.*, 2001).

Conforme sugerido por Lorentziadis (2010), *Rankings* das DMUs usando DEA, como descrito em Addler *et al.* (2002) e Angulo Meza e Lins (2002), também poderiam ser utilizados no contexto de um processo licitatório para classificar licitantes. Apesar dessa sugestão, Lorentziadis (2010) desenvolveu apenas um método multicritério para auxílio dos processos licitatórios, com foco na determinação dos pesos de julgamento após a abertura dos envelopes lacrados.

Entretanto, pode-se constatar que existem poucos trabalhos que abordam a seleção de propostas em processos licitatórios utilizando DEA. Além disso, nenhum deles realiza uma ordenação completa e nem a escolha da melhor proposta usando DEA, conforme sugerido neste trabalho.

4 ESTUDO DE CASO

Ao acompanhar a evolução de demandas da Petrobras por embarcações de apoio marítimo, é possível observar que a maior classe demandante são embarcações do tipo PSV (*PLATFORM SUPPLY VESSEL*). Para ser mais específico, embarcações do tipo PSV 3000 TPB, ou seja, que tenham capacidade de carga de 3000 toneladas representa a maior parte da

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

demanda de embarcações de suprimento. Com isso, todos os dados apresentados nesse estudo serão baseados em embarcações especificamente desse tipo.

Para atendimento as plataformas, são necessárias que as embarcações tipo PSV possuam área livre de convés e tanques para o transporte de líquidos. Tais características devem estar associadas a uma potência e velocidade de navegação adequada ao atendimento as unidades produtoras localizadas a quilômetros da costa.

Como a Petrobras contrata essas embarcações através de processos licitatórios, deve-se minimizar o impacto financeiro através da contratação de embarcações mais econômicas, ou seja, que consumam pouco combustível, além de pagar taxas diárias de afretamento menores, a fim de buscar a otimização do suprimento as unidades *offshore*.

Atualmente, para a classe PSV, o processo licitatório é conduzido em duas etapas. Na primeira etapa, são aprovadas aquelas propostas técnicas que atenderem minimamente aos requisitos técnicos (pontuação mínima). Então, as propostas técnicas classificadas, seguem para a abertura da proposta de preços. Dessa forma, o processo dá por vencedora aquela embarcação com menor preço dentre aquelas que obtiveram a pontuação mínima, com isso os licitantes ao preencherem os dados técnicos das propostas em documentos similares ao do anexo E, não disponibilizam o máximo potencial das embarcações. Portanto, numa análise inicial, os princípios de eficiência e economicidade foram atendidos e o objetivo da licitação foi alcançado. Ocorre que, durante o período de vigência do contrato (após o processo licitatório), não raras são às vezes em que se observam uma série de problemas técnico-operacionais que resultam em dispêndios adicionais. Como consequência, a contratação, antes a mais barata, torna-se muito cara e o objetivo de economicidade, de fato, pode não ser atendido.

Como uma alternativa para este processo de seleção em processos licitatórios, propõe-se o uso da Análise Envoltória de Dados, para seleção da melhor proposta. Tendo em vista que a metodologia DEA a ser aplicada não necessita da fixação prévia de pesos entre as variáveis, além de analisar os *inputs* e *outputs* ao mesmo tempo, ou seja, num mesmo modelo, garantindo uma melhor análise do custo X benefício através da avaliação conjunta de critérios técnicos e econômicos.

A metodologia DEA utilizada no presente trabalho visa à aplicação do modelo CCR com orientação a *inputs* e análise da fronteira invertida, a fim de garantir a melhoria do processo de contratação da Petrobras na medida em que auxiliará à tomada de decisão baseada em características técnicas e econômicas. Após a aplicação da DEA, são analisados na seção 5.3 os resultados que podem ser alcançados através da análise dos conceitos de inovação abordados na seção 2.4.

5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO ESTUDO DE CASO

5.1 MODELAGEM DEA

No presente estudo, as DMUs são as propostas concorrentes numa determinada licitação, ou seja, as embarcações de apoio tipo PSV, entre as quais se deseja selecionar a vencedora.

No passo seguinte, são definidas as variáveis que serão utilizadas na modelagem. Assim ao analisar o problema de contratação de embarcações *offshore*, é necessário definir melhor as variáveis que descrevem o processo licitatório. Para garantir o suprimento de cargas para as plataformas é necessário que as embarcações tipo PSV possuam área de convés para o transporte de cargas sólidas e tanques para o transporte de líquidos. Tais características devem

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

estar associadas a uma potência e velocidade de navegação adequada ao atendimento as unidades *offshore* localizadas a quilômetros da costa. Além disso, deve-se minimizar o impacto financeiro através da contratação de embarcações mais econômicas, ou seja, que consumam pouco combustível, além de pagar taxas diárias de afretamento menores.

Após analisado por uma equipe multidisciplinar da Petrobras, envolvendo inclusive especialistas da área de Engenharia Naval, foram escolhidas sete variáveis que descrevem o processo de contratação de embarcações de apoio marítimo e mais impactam na atividade de suprimento de plataformas *offshore*. Assim duas variáveis classificadas como *inputs* e cinco variáveis classificadas como *outputs*. Estas variáveis são descritas a seguir:

- *Input 1*: Valor da **Taxa** Diária ofertada para cada embarcação (DMU) (em dólares norte-americanos);
- *Input 2*: **Consumo** de Combustível da embarcação (em toneladas por dia);
- *Output 1*: Capacidade Total de armazenamento de **água** potável (em metros-cúbicos);
- *Output 2*: Capacidade Total de armazenamento de óleo **diesel** (em metros-cúbicos);
- *Output 3*: Capacidade Total de armazenamento de **carga** de convés (em metros-quadrados);
- *Output 4*: **Potência** Máxima Contínua de Propulsão da embarcação (em BHP-unidade de potência);
- *Output 5*: **Velocidade** Máxima a ser atingida durante a navegação da embarcação (em nós – unidade de velocidade).

Conforme observado, as variáveis econômicas do processo de contratação de embarcações, as quais impactam diretamente no dispêndio monetário da Petrobras, são os *inputs* da modelagem que devem ser minimizados. Já os *outputs* representam variáveis operacionais que impactam no atendimento das unidades marítimas, que devem ser maximizados.

A variável *input* 1 está relacionada diretamente ao gasto da Petrobras com o afretamento da embarcação. Já o *input* 2 está relacionado ao gasto da Petrobras com combustível, o qual apesar de a embarcação ser afretada, é pago pela contratante.

A variável *output* 1 foi escolhida porque as unidades marítimas necessitam de água potável para consumo, já que a maioria não possui capacidade de tratamento de água salgada para consumo humano. O *output* 2 foi escolhido devido à necessidade de diesel, um combustível líquido, para o funcionamento dos equipamentos de processo das plataformas. O *output* 3 representa a área de convés da embarcação, a qual está relacionada com a capacidade de transporte de carga sólida necessária para operação das unidades marítimas. O *output* 4 foi escolhido devido à necessidade de as embarcações conseguirem descarregar as cargas transportadas nas plataformas em condições de mar adversas. Já o *output* 5 representa a rapidez no transporte das cargas solicitadas pelas unidades marítimas.

Para essa aplicação precisa-se definir o modelo a ser utilizado. Tendo em vista que DEA tem dois modelos clássicos: CCR e BCC, nesse caso será utilizado o modelo CCR que considera retornos constantes de escala. Após testes realizados, este modelo foi escolhido devido à característica de ser menos benevolente que o modelo BCC, já que o objetivo a ser alcançado é a obtenção de um *ranking* entre as propostas de embarcações concorrentes no processo licitatório. Além disso, o modelo CCR é o mais indicado para o caso em questão, já que as embarcações possuem tecnologias semelhantes ou operam nas mesmas condições.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

Uma vez definido o modelo é necessário definir a sua orientação. Para este Estudo de Caso, a orientação utilizada será a *inputs*, devido ao interesse da redução dos custos da embarcação tipo PSV, mantendo as características técnicas constantes.

5.2 RESULTADOS DEA

O modelo DEA com uso da fronteira invertida será aplicado a dados sem necessidade de mudança de escala e autorizados para divulgação pela Petrobras. Considerando as mesmas variáveis descritas anteriormente na modelagem, foram coletados os seguintes dados para 14 embarcações, descritas na tabela 1, os quais foram obtidos de processo licitatório realizado em 2009 para embarcações do tipo PSV 3000 TPB, cujo resultado já se tornou público.

Tabela 1 – Dados de Embarcações tipo PSV 3000

Embarcação (DMU)	INPUTS		OUTPUTS				
	Taxa	Consumo	Água	Diesel	Carga	Potencia	Velocidade
ACF (Alfanave Cabo Frio)	22200	22,9	1500	800	540	4600	13,0
DT (Duanda Tide)	19980	22,0	1450	800	585	5450	14,0
HP (Highland Piper)	21900	20,6	1450	800	611	6038	11,5
HW (Highland Warrior)	18670	14,5	1450	800	570	5300	11,0
HB (Hos Bluewater)	22400	15,0	1500	800	730	4000	12,0
HGE (Hos Gemstone)	21900	15,0	1500	800	730	4000	12,0
HGR (Hos Greystone)	21900	15,0	1500	800	730	4000	12,0
HN (Hos Navegante)	21400	26,0	1500	800	615	7800	12,0
KC (Kimberly Candies)	21300	27,0	1500	800	576	5500	11,0
LT (Luanda Tide)	18670	22,0	1450	800	585	5460	14,0
NT (Normand Trym)	21900	22,5	1500	800	564	5400	12,0
NV (Normand Vibran)	21900	22,5	1500	800	564	5400	12,0
SC (Skandi Captain)	21900	16,5	1500	1000	625	6470	13,0
SS (Skandi Stolmen)	20500	23,0	1500	800	572	5460	13,0

A tabela 2 mostra a ordenação das PSVs baseada na forma atual de contratação, descrita como “menor preço”, ou seja, se as embarcações têm os requisitos técnicos mínimos para atendimento da demanda, as que tiverem os menores preços vencem a licitação. Assim, as primeiras colocadas do processo licitatório foram às embarcações Highland Warrior e Luanda Tide, por terem oferecido a menor Taxa Diária.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

Tabela 2 – Classificação das propostas de acordo com a taxa diária ofertada

Embarcações PSVs	Taxa Diária (USD)
HW	18670
LT	18670
DT	19980
SS	20500
KC	21300
HN	21400
HP	21900
HGE	21900
HGR	21900
NT	21900
NV	21900
SC	21900
ACF	22200
HB	22400

Ao observar a tabela 2, um fato a ser notado é que no método tradicional existiria um empate econômico entre a primeira e segunda colocada, o que dificultaria a determinação da proposta vencedora, já que as duas embarcações pertencem a empresas (licitantes) diferentes. Nesse caso, a Comissão de Licitação não teve maiores problemas porque a demanda a ser atendida no respectivo processo licitatório era para mais de uma embarcação.

Conforme determinado anteriormente nesse artigo será adotado o modelo CCR com orientação a *inputs* com a fronteira invertida, com uso da eficiência composta para ordenação das embarcações. Para rodar o modelo foi utilizado o *software* SIAD (Angulo Meza *et al.*, 2005), com os dados descritos na tabela 1. Os resultados são encontrados na tabela 3. Nesta tabela as embarcações foram ordenadas segundo a eficiência composta, expressa em porcentagem.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

Tabela 3 – Eficiência Composta das embarcações PSVs com uso da Fronteira Invertida para as 14 DMUs

DMUs (Embarcações PSVs)	Taxa Diária (USD)	Eficiência Composta (%)
HW	18670	100.00%
LT	18670	99.94%
SC	21900	93.08%
DT	19980	92.91%
HGE	21900	91.62%
HGR	21900	91.62%
HN	21400	90.60%
SS	20500	90.54%
HB	22400	90.20%
HP	21900	82.84%
KC	21300	81.79%
NT	21900	79.55%
NV	21900	79.55%
ACF	22200	78.48%

Nesta tabela 3, observa-se que a embarcação vencedora foi a HW, a qual apresentou a maior eficiência composta, além disso, essa embarcação apresentou o menor preço, devido a uma análise criteriosa de custo X benefício, já que houve uma seleção técnica e econômica, a qual seria ideal para contratos de longo prazo, devido ao menor risco de se ter problemas operacionais.

Cabe ressaltar que através da metodologia proposta, conclui-se que a embarcação HW é mais eficiente que a embarcação LT, ou seja, a embarcação HW é tecnicamente superior, já que existe um empate econômico entre as duas propostas, resolvendo assim o possível problema de seleção apresentado após a tabela 2.

Na tabela 4, é feita uma comparação entre os resultados obtidos no processo atual de contratação (tabela 2), e o *ranking* obtido usando o índice de eficiência composta (tabela 3). Observa-se que neste caso as duas primeiras colocadas permanecem inalteradas, entretanto a partir da terceira colocada existe uma alteração no *ranking*.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

Tabela 4 – Análise comparativa entre as tabelas 2 e 3

Ranking Tradicional	Método Tradicional	Ranking DEA	Método DEA
1	HW	1	HW
1	LT	2	LT
3	DT	3	SC
4	SS	4	DT
5	KC	5	HGE
6	HN	6	HGR
7	HP	7	HN
8	HGE	8	SS
9	HGR	9	HB
10	NT	10	HP
11	NV	11	KC
12	SC	12	NT
13	ACF	13	NV
14	HB	14	ACF

Neste caso apresentado na tabela 4, os dois primeiros colocados foram desempatados no método DEA, considerando as características técnicas das embarcações, e fazendo uma análise custo X benefício das embarcações propostas na licitação. O método tradicional pode favorecer a contratação de recursos que possivelmente terão problemas operacionais no futuro, com isso deveria ser aplicado em contratações de curto prazo, o que não é observado na prática. Tal fato pode ser notado na mudança do *ranking* a partir da terceira colocada no método DEA, embarcação SC (Skandi Captain), a qual de acordo com o método tradicional seria apenas a décima segunda colocada, mas que devido as suas características operacionais seria a terceira melhor opção.

Na tabela 5 é feita uma comparação entre as características técnicas e econômicas das respectivas terceiras colocadas já mencionadas. Ao observar os valores das variáveis das embarcações DT (terceira colocada do Modelo Tradicional) e SC (terceira colocada do Modelo DEA com Análise da Fronteira Invertida com uso do índice de eficiência composta), é possível concluir que a SC é mais econômica, no que diz respeito ao consumo de combustível, e tem uma capacidade operacional de transporte muito superior à da DT.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

Tabela 5 – Análise técnica entre as embarcações DT e SC

Embarcação (DMU)	INPUTS		OUTPUTS				
	Taxa	Consumo	Água	Diesel	Carga	Potencia	Velocidade
DT	19980	22,0	1450	800	585	5450	14,0
SC	21900	16,5	1500	1000	625	6470	13,0

Analisando as características técnicas descritas na tabela 5, baseado no resultado apresentado, ao comparar diretamente o consumo entre as embarcações DT e SC, é possível observar que a embarcação SC consome 5,5 toneladas a menos de combustível por dia, o que representaria uma economia diária para a Petrobras de cerca de \$ 2.750. Caso tal valor fosse somado à diária da embarcação DT, poderíamos observar linearmente que a Petrobras economizaria \$ 830 por dia ao contratar a embarcação SC. Em relação às variáveis técnicas, a embarcação SC carrega mais 50 metros-cúbicos de água, mais 200 metros-cúbicos de diesel, mais 40 metros-quadrados de carga, além de ter mais 1020 BHP de potência, sendo que sua velocidade máxima é pior apenas 1 nó em relação à embarcação DT.

Tal fato credibiliza a metodologia proposta, já que se comparássemos as embarcações ao longo do tempo teríamos uma visão melhor sobre a economia da empresa ao buscar a contratação de uma melhor frota, considerando no processo licitatório aspectos técnicos e econômicos, visando à redução do custo total de afretamento de embarcações de apoio marítimo. Por exemplo, ao longo de três anos de duração do contrato, ou seja 1095 dias, a economia diária mencionada anteriormente de \$ 830, representaria uma economia para Petrobras ao fim do período contratual de \$ 908.850.

De tudo que foi observado o uso da metodologia proposta para estes processos licitatórios demonstra que a alternativa de “melhor preço” também vence, só que agora tendo como base a análise conjunta das variáveis técnicas e econômicas. Sendo assim, é possível observar que tal metodologia favorece a contratação da melhor embarcação para atendimento das atividades operacionais.

5.3 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE INOVAÇÃO

Como pode ser observada ao longo do artigo, a metodologia proposta para análise de processos licitatórios busca agregar valores operacionais na contratação de recursos. No caso de contratação de embarcações de apoio marítimo para a empresa Petrobras, foram descritas cinco variáveis técnicas e duas variáveis econômicas, que caso fossem analisadas em conjunto para auxílio à tomada de decisão no processo licitatório proporcionariam um ganho financeiro a empresa conforme descrito ao final do tópico 5.2 desse artigo.

Cabe ressaltar que a metodologia proposta foi desenvolvida a partir de observações do corpo técnico da empresa Petrobras, caracterizando tal metodologia como uma estratégia de contratação de “baixo para cima” ou Estratégia Emergente, conforme descrito em Christensen (2003). Entretanto, para que tal estratégia seja implementada é necessário um planejamento eficaz.

Tendo em vista que a justificativa para utilização da metodologia proposta está baseada em números e que temos um público-alvo (mercado) para utilização da mesma, é possível concluir que o caso analisado é um tipo de Inovação Sustentadora e que necessita de um planejamento deliberado para que possa alcançar o sucesso na sua implementação.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

Com isso, baseado em Christensen (2003), verifica-se que é necessário que sejam desenvolvidos pressupostos sobre o futuro das contratações de embarcações da Petrobras, definindo uma estratégia fundamentada nesses pressupostos, para que decisões de contratação sejam tomadas na busca de ganhos econômicos para a referida empresa.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve por objetivo realizar uma aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) em processos licitatórios para determinação do *ranking* final das propostas concorrentes em tais processos. A metodologia desenvolvida foi aplicada no estudo de caso de contratação de embarcações de apoio marítimo *offshore* da Petrobras.

Para isso foi utilizado inicialmente o modelo Modelo CCR com Orientação a *inputs*, entretanto como não foi possível obter um *ranking*, foi aplicado o conceito da fronteira invertida, e o índice de eficiência composta foi utilizado para obtenção do *ranking* final. O método da Fronteira Invertida foi escolhido devido a sua característica de não necessitar da interferência do decisor, garantindo assim a imparcialidade do processo licitatório. Tal método, associado ao uso do índice de eficiência composta, seleciona a proposta que tem bom desempenho nas suas melhores características, mas que também não tem um mau desempenho nas suas piores características.

Ao se fazer uma comparação dos resultados do processo licitatório atual, isto é, com a classificação tradicional por preço dos processos licitatórios, é possível observar que no método tradicional vence a proposta de menor preço, independente das características técnicas das embarcações. Portanto, não existe uma Análise Custo X Benefício das embarcações propostas na licitação. Tal modelo pode favorecer a contratação de recursos que possivelmente terão problemas operacionais no futuro, com isso deveria ser aplicado em contratações de curto prazo, o que não é observado na prática.

Os resultados apontam também que na aplicação do Modelo DEA, com análise da Fronteira Invertida, e com índice de eficiência composta, a alternativa de “melhor preço” vence, ou seja, a proposta que possui um melhor conjunto de variáveis técnicas e econômicas vence o processo licitatório, tendo como base a análise conjunta dos critérios técnicos e econômicos. Sendo assim, é possível observar que tal método favorece a contratação da melhor embarcação para atendimento as atividades operacionais.

Dos resultados obtidos, pode-se observar que o Modelo CCR com Orientação a *inputs*, aliado a Análise da Fronteira Invertida, com o uso do índice de eficiência composta, pode ser considerado uma boa metodologia inovadora para uma melhor condução dos processos licitatórios (aspectos técnicos e legais).

Destaca-se que conforme demonstrado ao longo do artigo deve ser considerada inovadora a aplicação de DEA para determinação do *ranking* final em processos licitatórios. Mais especificamente, uma inovação sustentadora que está baseada em uma estratégia emergente, para o estudo de caso analisado.

A aplicação da metodologia proposta nos processos de contratação de embarcações da Petrobras resultará na otimização da sua frota de fornecedores, através do julgamento combinado dos critérios técnicos e econômicos na busca do melhor custo para a Companhia e mais adequação aos aspectos legais.

Para trabalhos futuros, propõe-se a utilização de outros modelos de DEA que aperfeiçoem ainda mais o ranking gerado para análise dos processos de contratação de embarcações *offshore*, considerando diferentes classes de embarcações. Além da aplicação de outros modelos e ferramentas que auxiliem a utilização da metodologia proposta baseada em

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

uma estratégia deliberada. Através da aplicação de ferramentas apropriadas será possível acelerar o processo de implementação da estratégia de inovação emergente descrita ao longo do trabalho para que num futuro próximo a mesma se torne uma estratégia deliberada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDLER, N.; FRIEDMAN, L.; SINUANY-STERN, Z. (2002). Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research*, 140, 249–265.
- ANGULO MEZA, L.; LINS, M. P. E. (2002). Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*, 116, 225-242.
- ANGULO MEZA, L., BIONDI NETO, L, SOARES DE MELLO, J.C. C.B.(2005). ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 493-503.
- ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; CLÍMACO, J. C. N. “Estudos Conjuntos de Análise Envoltória de Dados (DEA) e Programação Linear Multiobjetivo (PLMO): Uma Revisão Bibliográfica”. *Relatório de Pesquisa em Engenharia de Produção*, v. 6, n. 5, 2006.
- ANGULO MEZA, L. *A Study On Multiobjective Models For Non Discretionary Variables In DEA*. CLAIIO, 2010.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, 9, p. 1078-1092.
- BOUGNOL, M. L.; DULÁ, J. H.; Estellita Lins; M. P.; Moreira da Silva, A. C. (2009). Enhancing standard performance practices with DEA. *Omega*, v. 38, p. 33-45.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. (1978) Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Data Envelopment Analysis: a comprehensive texto with models, applications, references and DEA-solver software*. Kluwer Academic Publishers, USA, 2000.
- CHRISTENSEN, C. M. *O Crescimento pela Inovação: como crescer de forma sustentada e reinventar o sucesso*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. (2002). Dual models of interval dea and its extensions to interval data. *European Journal of Operational* , 136, 32-45.
- LEENDERS, M. R.; FEARON, H. E. *Purchasing and Supply Management*. McGraw Hill–Irwin, New York. p. 416, 2006.
- LINS, M. P. E.; ANGULO-MEZA, L. *Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão*. Rio de Janeiro: Editora da COPPE/UFRJ, 2000.
- LINS, M. P. E.; DE LYRA NOVAES, L. F.; LEGEY, L. F. L. (2005). Real estate appraisal: A double perspective data envelopment analysis approach. *Annals of Operations Research*, v. 138, n. 1, 79-96.
- LOBIANCO, A. T. M.; ANGULO MEZA, L. *Uma Comparação de Métodos de Solução para Problemas de Programação Linear Multiobjetivo*. SPOLM, Rio de Janeiro, 2007.
- LORENTZIADIS, P. L. (2010). Post-objective determination of weights of the evaluation factors in public procurement tenders. *European Journal of Operational Research*, 200, 261-267.
- MACIEL, G. S. *Utilização de DEA para análise de processos licitatórios: estudo de caso do processo de contratação de embarcações de apoio marítimo offshore da Petrobras (Mestrado)*. Engenharia de Produção, UFF, Niterói, 2010.

APLICAÇÃO DE DEA EM PROCESSOS LICITATÓRIOS E ANÁLISE DE INOVAÇÃO

- OHNO, T.; HARADA, Y. Comparison of tendering and contracting systems for Public works between Japan, the United States and EU countries. *Government Auditing Review* – Board of Audit Japan 13, 49–71, 2006.
- SARANGA, H. (2007). Multiple objective data envelopment analysis as applied to the Indian Pharmaceutical Industry. *Journal of the Operational Research Society*, v. 58, n. 11, 1480-1493.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. Curso de Análise Envoltória de Dados. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Gramado, 2005.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E. G.; FERNANDES, A. J. S.; BIONDI NETO, L. (2008). Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura. *IEEE Latin America Transactions*, v. 6, n. 2, 153-161.
- TEECE, D. J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. Elsevier Science Publishers B. V., 1986.
- YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. (1994) New analysis of efficiency based on dea. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37, n.2, 158-167.
- ZHU, H.; WU, J.; ZHAO, Y. A quadratic programming approach to determine the uncertain weights in multiple criteria decision-making problems. *International Conference on Management Science and Engineering Management*, Sichuan, 2007.