

APLICAÇÃO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NOS PROCESSOS LICITATÓRIOS DE CONTRATAÇÃO DE EMBARCAÇÕES *OFFSHORE* DA PETROBRAS

Gustavo da Silva Maciel
PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S/A
Av. Elias Agostinho, 328, 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 trabalho tem por objetivo aplicar um modelo de *Data Envelopment Analysis* (DEA) nos processos de contratação de embarcações de apoio marítimo da Petrobras. Este aborda a utilidade de DEA para o aumento da objetividade no processo de contratação de embarcações *offshore*, visando a otimização do processo licitatório. Como resultado, observa-se que a aplicação de DEA auxilia na tomada de decisão, já que permite uma melhor ordenação das propostas concorrentes, indicando a contratação da melhor frota que atenda os requisitos técnicos, econômicos e legais, necessários as operações logísticas *offshore*.

PALAVRAS-CHAVE: DEA; Processos Licitatórios; Embarcações *Offshore*.

ÁREA PRINCIPAL: Análise Envoltória de Dados.

ABSTRACT

This paper aims to implement a model of *Data Envelopment Analysis* (DEA) in the process of hiring offshore support vessels to Petrobras. This addresses the usefulness of DEA to increase the objectivity in the hiring process for offshore vessels, aiming to optimize the bidding process. As a result, it is observed that the application of DEA assists in decision making, as it allows a better ordering of the competing offers, indicating the recruitment of better fleet that meets the technical, economic and legal, necessary logistics operations offshore.

KEYWORDS: DEA; Bidding Process; Offshore Vessels.

MAIN AREA: Data Envelopment Analysis.

1. Introdução

A Petrobras (Petróleo Brasileiro S/A), na área de E&P (Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural), possui uma frota terceirizada de Embarcações de Apoio *Offshore*, as quais devem ser contratadas por meio de processos licitatórios, para o suprimento as plataformas de petróleo localizadas ao longo da costa brasileira.

O trabalho proposto visa aplicar um Modelo de Análise Envoltória de Dados para auxiliar à tomada de decisão na contratação embarcações de apoio. Como no presente artigo, as embarcações marítimas que concorrem no procedimento licitatório são similares em tecnologia e operarão nas mesmas condições operacionais, será adotado o Modelo DEA-CCR em conjunto com o Método da Fronteira Invertida.

Como será visto mais adiante neste trabalho, para modelagem do Estudo de Caso, as DMUs (*Decision Making Units*) 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.

O respectivo trabalho tem por objetivo propor uma otimização do Processo de Contratação de Embarcações de Apoio Marítimo *Offshore* da Petrobras, de maneira que paradigmas da contratação baseada em processos licitatórios, considerando a análise de técnica e preço, sejam quebrados, buscando um melhor perfil de frota contratada para atendimento as plataformas de petróleo.

2. Metodologia

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 relativa de unidades de produção similares (*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.

A Análise Envotória 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.).

Em 1978, Charnes, Cooper e Rhodes formalizaram o modelo inaugural de DEA: o modelo CCR. O modelo DEA-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 DEA-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). Ele 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, na formulação matemática do PPL de DEA, os pesos (u_i e v_j) 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 desse PPL. A formulação matemática do PPL primal – chamado Modelo dos Multiplicadores - do modelo DEA-CCR orientado a *inputs*, já linearizada, é o modelo apresentado em (1).

$$\begin{aligned} \text{Max } Eff_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^r v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} &\leq 0, \forall k \\ v_i, u_j &\geq 0, \forall i, j \end{aligned} \quad (1)$$

Apesar das vantagens dos modelos DEA, sobretudo em relação aos modelos paramétricos, os modelos DEA (CCR) 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 (Soares de Mello *et al.*, 2005). As principais razões para pouca discriminação entre as DMUs são as seguintes (Ângulo Meza *et al.*, 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.

Para solucionar esse problema de pouca discriminação de DEA, há dois grupos de métodos: um grupo cujos métodos demandam a incorporação de informações a priori sobre as variáveis (opinião dos tomadores de decisão, por exemplo); e outros que não exigem nenhuma informação prévia (Ângulo Meza *et al.*, 2002), que é o caso do Método da Fronteira Invertida.

O método da fronteira invertida é um método que mantém o perfil de objetividade do método DEA. O resultado deste método é uma análise que conjuga os resultados da fronteira padrão do modelo DEA-CCR com a fronteira invertida, que é obtida com a inversão entre *inputs* e *outputs* do modelo DEA-CCR original. Por essa fronteira, as DMUs eficientes são, justamente, as que apresentam os piores desempenhos (fronteira ineficiente). Com efeito, para os fins deste artigo, será adotado, conforme a conveniência, um índice de eficiência que conjuga os aspectos positivos e negativos de cada DMU (média aritmética da eficiência segundo as óticas otimista e pessimista, observada em (2)) (Soares de Mello *et al.*, 2005).

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

3. Descrição do Problema

As embarcações de apoio marítimo são recursos críticos que têm tido uma demanda crescente no mercado brasileiro de produção de petróleo e gás *offshore* e, com o desenvolvimento dos campos da camada do Pré-sal, a expectativa é de que, nos próximos anos, esse nicho esteja ainda mais alavancado.

Pelo lado da oferta, há dois importantes fatores de criticidade dessas embarcações: o preço e as condições operacionais. Apesar de possuírem um porte menor, o preço de aquisição de uma embarcação de apoio do tipo AHTS (*ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY*) ou PSV (*PLATFORM SUPPLY VESSEL*) pode ser igual ou superior ao de uma embarcação mercante convencional. Isso se deve aos altos custos dos equipamentos instalados numa embarcação de apoio desse tipo. Outra diferença notável está nas condições de operação: enquanto na maioria das embarcações mercantes importam apenas as condições de operação nos momentos de partida, de chegada e definição de rota porto a porto, as embarcações de apoio marítimo operam também paradas, ou seja, elas devem manter seu posicionamento no mar para realizar as operações de suprimento com as unidades *offshore*. Com isso, estão sujeitas às condições ambientais da região de operação (ação de ondas, ventos e correntes marinhas), o que só aumenta a severidade dos serviços a serem realizados.

A Petrobras, como instituição pertencente à Administração Pública brasileira, segue as normas estabelecidas e utiliza a licitação em diversas atividades. Normalmente, 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. 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 as vezes em que se observam uma série de problemas técnico-operacionais que resultam em dispêndios adicionais.

Com isso, faz-se necessário desenvolver métodos que auxiliem os processos licitatórios na busca do melhor atendimento das características técnicas e econômicas das propostas. Em alguns casos tais métodos estão baseados na utilização de métodos multicritério de apoio à decisão, o qual não faz parte do escopo do presente trabalho, tendo em vista que o mesmo propõe a aplicação de métodos de análise envoltória de dados (DEA). Apesar de Narasimhan et al. (2001) acreditar que a aplicação de DEA deve ser utilizada numa seleção inicial de licitantes, o presente trabalho busca uma seleção completa das melhores propostas através da metodologia proposta. Outros autores, como Lorentziadis (2010), aplicaram métodos multicritério com foco na otimização dos processos licitatórios, entretanto pode ser considerado inovador a aplicação de DEA para determinação do *ranking* final em processos licitatórios.

4. Modelagem

Ao analisar o problema de contratação de embarcações *offshore*, foi observado que seriam necessárias sete variáveis para descrever a modelagem do processo licitatório, com enfoque em embarcações do tipo PSV (*PLATFORM SUPPLY VESSEL*). Tais embarcações transportam, no convés, cargas e equipamentos necessários para o suprimento de unidades marítimas. Além da carga de convés, as embarcações tipo PSV devem possuir tanques capazes de transportar água e diesel, para abastecimento das plataformas.

Com isso, 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, adequadas 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*.

Sendo assim, o modelo terá duas variáveis de entrada (Inputs):

1. Input 1: Valor da Taxa Diária (em dólares norte-americanos) ofertada pelo afretador para cada embarcação (DMU) a ser contratada pela Petrobras;
2. Input 2: Consumo de Combustível (em toneladas por dia) da embarcação, o qual será pago pela Petrobras;

E cinco variáveis de saída (Outputs):

1. Output 1: Capacidade Total de armazenamento de água potável (em metros-cúbicos) de cada embarcação;
2. Output 2: Capacidade Total de armazenamento de óleo diesel (em metros-cúbicos) de cada embarcação;
3. Output 3: Capacidade Total de armazenamento de carga de convés (em metros-quadrados) de cada embarcação;
4. Output 4: Potência Máxima Contínua de Propulsão da embarcação (em BHP-unidade de potência);
5. Output 5: Velocidade Máxima a ser atingida durante a navegação da embarcação (em nós).

Após a definição das variáveis, foram coletados os seguintes dados, observados na tabela 1, os quais foram obtidos de processos licitatórios recentes, entretanto os mesmos estão normalizados devido à confidencialidade das informações. A presente modelagem é composta de 20 DMUs, ou seja, no processo licitatório estudado concorreram 20 embarcações diferentes.

Tabela 1 – Dados de Embarcações *Offshore*

	Taxa	Consumo	Água	Diesel	Carga	Potência	Velocidade
PSV_1	18000	22.9	1500	800	500	5460	13
PSV_2	19000	22	1550	830	520	5600	13.5
PSV_3	20000	22.5	1580	870	560	5400	13.8
PSV_4	21000	22.1	1650	890	600	5300	12.7
PSV_5	22000	21.9	1630	850	500	5290	11.3
PSV_6	23000	21.7	1610	820	490	5700	12.7
PSV_7	23500	22.6	1590	900	450	5800	15.1
PSV_8	24000	22.4	1450	1000	500	6000	13.4
PSV_9	24500	23.2	1700	1100	550	5800	15.6
PSV_10	25000	24.2	1620	1020	600	5900	14.7
PSV_11	25000	21.7	1590	890	530	5200	13.9
PSV_12	25500	21	1780	950	490	5470	13.8
PSV_13	26000	21.5	1730	1050	520	5570	11.4
PSV_14	26500	21.3	1640	980	550	5990	11.5
PSV_15	27000	21.2	1590	990	600	6000	12.3
PSV_16	27500	20.4	1650	1040	620	5580	12.3
PSV_17	28000	20.3	1540	1060	600	5730	11.5
PSV_18	28500	21.5	1500	1100	580	5500	12
PSV_19	29000	21.7	1390	1030	560	5900	12.5
PSV_20	30000	21.4	1420	970	650	5300	13

De acordo com a Tabela 1, foram analisadas 20 embarcações supridoras para apoio marítimo, representadas pelas DMUs, as quais foram ordenadas de 1 a 20. Tal ordenação foi 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. A ordem de classificação das propostas, baseada apenas na taxa diária de afretamento para a embarcação, pode ser observada na tabela 2. Conseqüentemente, a embarcação vencedora foi o PSV_1, por ter oferecido a menor Taxa Diária.

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

Ordenação (Menor Preço)	Taxa Diária (USD)
PSV_1	18000
PSV_2	19000
PSV_3	20000
PSV_4	21000
PSV_5	22000
PSV_6	23000
PSV_7	23500
PSV_8	24000
PSV_9	24500
PSV_10	25000
PSV_11	25000
PSV_12	25500
PSV_13	26000
PSV_14	26500
PSV_15	27000
PSV_16	27500
PSV_17	28000
PSV_18	28500
PSV_19	29000
PSV_20	30000

5. Análise dos Resultados

No presente trabalho será adotado o Modelo DEA-CCR com orientação aos *Inputs*, tendo em vista que a única variável do processo passível de ser modificada é a Taxa Diária da embarcação, dado a complexidade de projeto dos PSVs.

Com o auxílio do *software* SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão) (Ângulo Meza *et al.*, 2005), foram rodados os dados descritos na tabela 1, para, assim, poder avaliar a eficiência associada a cada DMU (embarcação), considerando tanto critérios técnicos quanto econômicos, conforme descrição das variáveis que foram utilizadas na modelagem. A tabela 3 abaixo demonstra a eficiência encontrada para cada DMU, de acordo com o Método CCR orientado a *input*.

Tabela 3 – Resultado do Modelo CCR orientado a input

Ordenação (Modelo CCR e Orientação a Input)	Eficiência
PSV_1	1
PSV_2	1
PSV_3	1
PSV_4	1
PSV_7	1
PSV_8	1
PSV_9	1
PSV_12	1
PSV_13	1
PSV_14	1
PSV_15	1
PSV_16	1
PSV_17	1
PSV_20	1
PSV_18	0.995027
PSV_6	0.988952
PSV_19	0.975532
PSV_11	0.974097
PSV_5	0.972207
PSV_10	0.967930

Analisando a tabela 3, foram observadas várias DMU's eficientes, o que dificulta o estabelecimento de um *ranking* de propostas. Até aqui, com a aplicação do modelo CCR "benevolente", não foi possível fazer uma boa discriminação das DMUs.

Nesse contexto, foi necessário ser aplicada a metodologia de Análise da Fronteira Invertida, a qual possibilitou o estabelecimento da seguinte classificação das propostas descrita na tabela 4. Tal método foi escolhido devido a sua característica de não necessitar da interferência do decisor, garantindo assim a imparcialidade do processo licitatório.

Tabela 4 – Classificação DEA com aplicação do método da Fronteira Invertida

Ordenação (Melhor Técnica e Preço)	Eficiência Composta
PSV_16	1
PSV_2	0.998732
PSV_15	0.986049
PSV_9	0.981876
PSV_3	0.958989
PSV_4	0.95484
PSV_1	0.954084
PSV_7	0.954084
PSV_8	0.954084
PSV_12	0.954084
PSV_13	0.954084
PSV_14	0.954084
PSV_17	0.954084
PSV_20	0.954084
PSV_18	0.94934
PSV_6	0.943544
PSV_19	0.93074
PSV_11	0.929371
PSV_5	0.927568
PSV_10	0.927214

Sendo assim, comparando as tabelas 2, 3 e 4, é possível observar que o melhor resultado gerado foi o apresentado pela tabela 4, o qual foi obtido com a aplicação do Modelo DEA-CCR com orientação a *input* e Análise da Eficiência Composta, baseada na Fronteira Padrão e Fronteira Invertida.

Ao analisar a classificação tradicional dos processos licitatórios, descrita na tabela 2, 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 tradicionalista 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.

Em contrapartida, a aplicação do Modelo DEA, com análise da Fronteira Invertida, descrita na tabela 4, demonstra que a alternativa de “melhor preço” vence, ou seja, a melhor proposta tendo como base a análise conjunta das variáveis técnicas e econômica. Sendo assim, é possível observar que tal método favorece a contratação da melhor embarcação para atendimento as atividades operacionais.

A comparação entre os resultados obtidos pelos dois métodos discutidos na presente seção pode ser observada na tabela 1. Ao observar as variáveis do PSV_1 (vencedor do Modelo Tradicional) e do PSV_16 (vencedor do Modelo DEA com Análise da Fronteira Invertida), é possível concluir que o PSV_16 é mais econômico, no que diz respeito ao consumo de combustível, e tem uma capacidade operacional de transporte muito superior ao da embarcação PSV_1.

Procedimentos licitatórios que consideram apenas variáveis econômicas ou aqueles que, na prática, acabam por valorizar mais os critérios econômicos não podem ser considerados eficientes, tendo em vista apenas a visão pontual para o fator econômico. Portanto, a aplicação de métodos para auxílio na tomada de decisão que englobem fatores de julgamento tanto para as variáveis técnicas quanto para as econômicas é a solução mais otimizada para análise de processos licitatórios do tipo melhor técnica e preço.

6. Comentários Finais

A aplicação de DEA, através do Modelo CCR com Orientação a *input*, combinado com a Análise da Fronteira Invertida, pode ser considerada uma boa metodologia para auxílio nos processos licitatórios para contratação de embarcações da Petrobras, a qual garantiria um melhor perfil de frota de embarcações *offshore*, devido ao julgamento combinado dos critérios técnicos e econômicos na busca da melhor relação custo *versus* benefício para a empresa.

De acordo com a aplicação da metodologia proposta, a embarcação PSV_16 é superior a embarcação PSV_1 nos quatro critérios mais relevantes para atendimento as atividades de suprimento de unidades marítimas da Petrobras, além de consumir menos combustível, apesar da taxa diária estar mais elevada.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se uma nova modelagem que poderia incluir uma variável sobre desempenho da empresa em contratos anteriores, levando-se em conta, por exemplo, o histórico operacional da empresa, associado à utilização de modelos mais eficientes de DEA que aperfeiçoem ainda mais o ranking gerado para análise dos processos de contratação de embarcações *offshore*.

Referências

Angulo Meza, L., Estellita Lins, M. P. Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*, v. 116, p. 225-242, 2002;

Angulo Meza, L.; Biondi Neto, L.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Gomes, E.G. 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, pp. 493-503, 2005;

Bougnol, M. L., Dulá, J. H., Estellita Lins, M. P., Moreira da Silva, A. C. Enhancing standard performance practices with DEA. *Omega*, v. 38, p. 33-45, 2009;

Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v.2, p. 429-444, 1978;

Lorentziadis, P. L. Post-objective determination of weights of the evaluation factors in public procurement tenders. *European Journal of Operational Research* 200, p. 261-267, 2010.

Narasimhan, R., Talluri, S., Mendez, D. Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: An empirical approach. *Journal of Supply Chain Management* 37 (3), p. 28-37, 2001;

Soares de Mello, J. C. C. B., Ângulo Meza, L., Gomes, E. G., Biondi Neto, L. Curso de Análise Envoltória de Dados. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Gramado, 2005;

Soares de Mello, M. H. C., Soares de Mello, J. C. C. B., Ângulo Meza, L. Modelos DEA para avaliar a atratividade dos cursos de engenharia da UFF. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.