

Modelagem DEA: teoria e aplicações na indústria do petróleo

PAULO RICARDO COSME BEZERRA

(UFRN – PPGCEP), paulorcbezerra@gmail.com

MARCELA MARQUES VIEIRA

(UFRN – PPGCEP), marcela@geologia.ufrn.br

MARIANA RODRIGUES DE ALMEIDA

(UFRN – PEP), almeidamariana@yahoo.com.br

Resumo: Este artigo busca contribuir com os estudos sobre gestão na indústria do petróleo e gás no sentido de apresentar um modelo matemático, com uso da ferramenta *Data Envelopment Analysis* (DEA), para avaliar a eficiência relativa de unidades produtivas na engenharia do petróleo, sendo uma metodologia eficiente que auxilia no planejamento e tomada de decisão. Este trabalho quantifica o número de publicações ao longo dos períodos e busca identificar as áreas de desenvolvimento de pesquisas utilizando DEA na engenharia do petróleo e caracterizar a situação no Brasil. Um dos principais objetivos é evidenciar a eficiência ou ineficiência verificadas a partir do confronto de variáveis (*inputs/outputs*). A metodologia DEA teve início nos trabalhos desenvolvidos por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978, que teve como base o trabalho de Farrel (1957). A evolução da modelagem DEA, tanto em seus aspectos teóricos quanto em suas aplicações, pode ser comprovada pela grande quantidade de artigos publicados. Porém, na engenharia do petróleo, a produção ainda é insipiente.

Palavras-chave: Análise envoltória de dados. Pesquisa operacional. Engenharia do petróleo.

DEA modeling: theory and applications in the oil industry

Abstract: This article seeks to contribute to the study of management in the oil and gas industry to present a mathematical model, using the *Data Envelopment Analysis* Tool (DEA) to evaluate the relative efficiency of production units in petroleum engineering, with a methodology efficient that helps in planning and decision making. This paper quantifies the number of publications over the periods and seeks to identify the research areas of development using DEA in petroleum engineering and characterize the situation in Brazil. A major goal is to demonstrate the efficiency or inefficiency verified from confrontational variables (*inputs / outputs*). The DEA began the work undertaken by Charnes, Cooper and Rhodes in 1978, which was based on the work of Farrell (1957). The evolution of DEA modeling, the large number of published articles can prove both in its theoretical aspects and in its applications. However, in the petroleum engineering, production is still incipient.

Keywords: *Data Envelopment Analysis*. Operational research. Petroleum Engineering.

INTRODUÇÃO

A *Data Envelopment Analysis* (DEA) é uma técnica de programação matemática que busca analisar o desempenho, em termos de eficiência relativa, de diferentes unidades tomadoras de decisão (DMUs – *Decision Making Units*), a partir de um conjunto de *inputs* e *outputs*. As DMUs localizadas na fronteira de eficiência servirão de *benchmark* para as demais. As origens do DEA são reveladas pelos autores Forsound e Sarafoglou (2002) e foi desenvolvida inicialmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), com base nos princípios derivados do modelo de Farrell (1957).

A eficiência de uma unidade produtiva é medida através da comparação entre os valores observados e os valores ótimos de suas saídas (*output*) e entradas (*input*). Essa comparação pode ser feita, em linhas gerais, pela razão entre a quantidade mínima necessária de recursos e a quantidade de produtos gerados. Combinações dessas razões podem igualmente prover informações importantes.

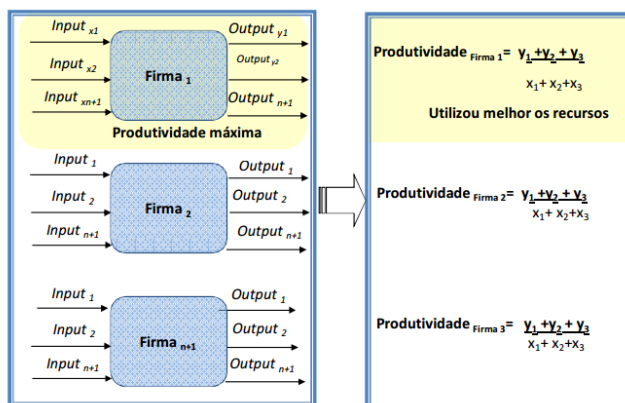


FIGURA 1: ESQUEMA DE MENSURAÇÃO DA EFICIÊNCIA

Os principais objetivos da DEA, conforme Gomes, Soares e Estellita (2004) são:

- Comparar um determinado número de DMUS que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de *inputs* que consomem e de *outputs* que produzem;
- Identificar as DMUS eficientes, medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes (*piece-wise linear frontier*), que fornece o *benchmark* (referência) para as DMUS ineficientes. Ao identificar as origens e quantidades de ineficiência relativas de cada uma das DMUS, é possível analisar qualquer de suas dimensões relativas a entradas e/ou saídas;
- Determinar a eficiência relativa das DMUS, contemplando cada uma, relativamente a todas as outras que compõem o grupo a ser estudado. Assim, sob de-

terminadas condições, DEA pode ser usado na problemática da ordenação como ferramenta multicritério de apoio à decisão;

d) Subsidiar estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUS avaliadas, corrigindo as ineficientes através da determinação de alvos; Estabelecer taxas de substituição entre as entradas, entre as saídas e entre entradas e saídas, permitindo a tomada de decisões gerenciais;

e) Considerar a possibilidade de os *outliers* não representarem apenas desvios em relação ao comportamento “médio”, mas possíveis *benchmarks* a serem analisados pelas demais DMUS. Os *outliers* podem representar as melhores práticas dentro do universo investigado.

OBJETIVOS

Identificar o estado da arte referente a metodologia DEA (*Data Envelopment Analysis*) e suas aplicações na engenharia do petróleo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o número de publicações ao longo dos períodos;
- Identificar as áreas de desenvolvimento de pesquisas utilizando DEA na Engenharia do Petróleo;
- Quantificar os países com maior número de publicações;
- Fazer uma análise comparativa sobre a aplicação e métodos de DEA ao longo dos períodos.

MODELAGEM CLÁSSICA DEA

Há dois modelos clássicos DEA: o modelo CCR e o BCC.

O modelo CCR (*Constant Returns to Scale*), trabalha com retornos constantes de escala (Charnes et al., 1978). Em sua formulação matemática considera-se que cada DMU k é uma unidade de produção que utiliza n *inputs* y_{ik} , $i = 1, \dots, n$, para produzir m *outputs* x_{jk} , $j = 1, \dots, m$. Esse modelo maximiza o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos *inputs*, com a restrição de que para qualquer DMU esse quociente não pode ser maior que 1. O modelo BCC (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984), considera situações de eficiência de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*.

Modelo CCR Primal (Forma dos Multiplicadores)	Orientado ao input	$Max = \sum_{i=1}^m u_i \times y_{i0}$ $\sum_{i=1}^m u_i \times y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \times x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, z$ $\sum_{j=1}^n v_j \times x_{j0} = 1$ $u_i \text{ e } v_j \geq 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$	Variáveis u_i = Utilidade do <i>output</i> i ; v_j = Utilidade do <i>inputs</i> j ; x_{jk} = Quantidade do insumo j da DMU k ; y_{ik} = Quantidade do produto i da DMU k ; x_{j0} = Quantidade do insumo j da DMU em análise; y_{i0} = Quantidade do produto i da DMU em análise; z = Número de unidades em avaliação; m = Número de <i>outputs</i> ; n = Número de <i>inputs</i>
	Orientado ao output	$Min = \sum_{j=1}^n v_j \times x_{j0}$ $\sum_{i=1}^m u_i \times y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \times x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, z$ $\sum_{i=1}^m u_i \times y_{i0} = 1$ $u_i \text{ e } v_j \geq 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$	

FIGURA 2 – MODELO CCR

Modelo BCC Primal (Forma dos Multiplicadores)	Orientado ao input	$Max = \sum_{i=1}^m u_i \times y_{i0} + u$ $\sum_{i=1}^m u_i \times y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \times x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, z$ $\sum_{j=1}^n v_j \times x_{j0} = 1$ $u_i \text{ e } v_j \geq 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$	Variáveis u_i = peso calculado para o produto i ; v_j = peso calculado para o insumo j ; x_{jk} = quantidade do insumo j para unidade k ; y_{ik} = quantidade do produto i para unidade k ; x_{j0} = quantidade do insumo j para unidade em análise; y_{i0} = quantidade do produto i para unidade em análise; z = número de unidades em avaliação; m = número de tipos de produtos; n = número de tipos de insumo; u e v = coeficientes de retorno a escala
	Orientado ao output	$Min = \sum_{j=1}^n v_j \times x_{j0} + v$ $\sum_{i=1}^m u_i \times y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \times x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, z$ $\sum_{i=1}^m u_i \times y_{i0} = 1$ $u_i \text{ e } v_j \geq 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$	

FIGURA 3 – MODELO BCC

Outros modelos DEA são o modelo de supereficiência. A ideia desse modelo é comparar a unidade que está sendo avaliada com uma combinação linear de todas as outras unidades da amostra, sendo que a unidade de referência é excluída. Assim, dado que a unidade que está sendo avaliada é retirada do conjunto das unidades de comparação, a eficiência obtida pode ser maior que 100%.

O índice de *Malmquist* se caracteriza pela capacidade de medir a mudança, em termos de produtividade total dos fatores, entre diferentes períodos e decompor esse índice em eficiência técnica e mudança de tecnologia (CAVES et al., 1982), conforme a Expressão:

Composição do Índice Malmquist
$IM = \left(\sqrt{\frac{D_0(x^t, y^t)}{D_0(x^0, y^0)} \cdot \frac{D_0(x^0, y^0)}{D_t(x^0, y^0)}} \right) \cdot \left(\frac{D_t(x^t, y^t)}{D_0(x^0, y^0)} \right) = AT * AE$

FIGURA 4 - COMPOSIÇÃO DO ÍNDICE MALMQUIST

METODOLOGIA DA PESQUISA

Nesta pesquisa a população alvo é constituída pelo número de publicações referentes ao tema “DEA na Engenharia do Petróleo” obtidas no site SCOPUS (www.scopus.com) em dezembro de 2014, utilizando as seguintes

palavras-chaves: *efficiency, productivity, DEA + Oil, Data Envelopment Analysis + Petroleum.*

RESULTADOS

ANÁLISE DESCRITIVA

A figura 5 apresenta a série temporal para o número de publicações em artigos científicos referentes a DEA na engenharia do petróleo entre 1992 a 2015, totalizando 33 artigos. A década de 90 surge de forma tímida com apenas 2 publicações em 1992 e 1996. No intervalo de 2000 a 2004 ocorrem outras 3 publicações, intensificando-se a partir de 2005.

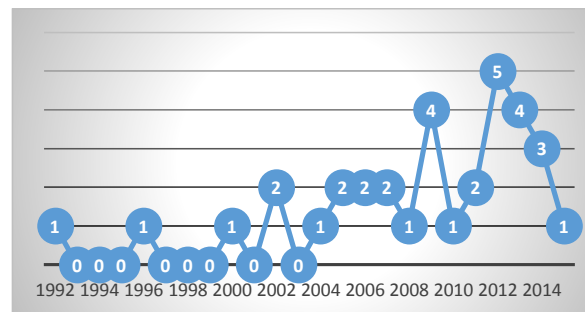


FIGURA 5 – PUBLICAÇÕES NO PERÍODO DE 1992 A 2015

Com relação aos países de origem dos trabalhos, na Figura 6 é apresentada as publicações, onde a maior produção é do Japão, com 8 artigos, representando (24,4%) do total, seguido pelos Estados Unidos (21,2% das publicações) e China (18,2% das publicações), com 7 e 6 artigos respectivamente. O Brasil ocupa a quarta posição no ranking com 3 artigos publicados, mesmo total que o Irã. Outros países em menor percentual são Reino Unido, Iraque, Malásia, Índia e Angola.

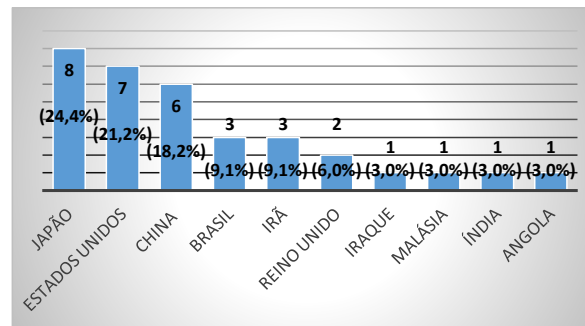


FIGURA 6 – PUBLICAÇÕES POR PAÍSES

DEA NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

As áreas de aplicação da DEA na indústria do petróleo são: formação de preço, tomada de decisão, economia, ges-

tão, abastecimento, governo, finanças, refinarias, energia, meio ambiente e faturamento.

Economia

Thompson (1992) iniciou os estudos sobre DEA, aplicando o modelo CCR, para analisar a viabilidade econômica de 45 empresas de petróleo e gás nos Estados Unidos entre 1980 a 1986. Os resultados sugeriram que a política energética dos Estados Unidos estimulou a crescente dependência do petróleo estrangeiro. O mesmo método é aplicado por Thompson (1996). Porém, aqui, o objetivo foi avaliar a rentabilidade e a eficiência de 14 empresas petrolíferas entre 1980 a 1991 e como resultado foi observado um nível de 21% de ineficiência média, sendo sugerido como melhoria que as empresas diminuam seus custos e obtenha um aumento mínimo de 21% dos lucros totais de conservação dos recursos eliminando desperdícios, melhorando a sua substituição de recursos.

Gestão

Seyoshi (2000) aplicou DEA no planejamento estratégico, objetivando a reestruturação de uma empresa petrolífera Japonesa. Ele acredita que “o planejamento futuro é mais importante que observar dados do passado” e busca incorporar informações futuras na análise de seus resultados aplicando a técnica “*Analysis DEA future*”. Vasconcellos, Canen e Lins (2006) aplicaram DEA no processo de *benchmarking* para identificar as melhores práticas operacionais de um sistema de unidades produtivas no Brasil por meio da *DEA-benchmarking*. Em 2009, houve uma evolução significativa no uso da DEA na área de gestão, utilizando o método CCR, regressão logística e análise de cluster definindo um plano de investimento para exploração de petróleo e o correto uso dos recursos de petróleo e gás (YURUA; DONGKUN, 2009). Rejin e Jiatao (2011) selecionaram 22 refinarias de petróleo e aplicaram o modelo CCR para avaliar os resultados operacionais destas unidades. Foi observado que as escalas técnicas de 11 das 22 refinarias foram validadas e que sua capacidade de produção não foi totalmente utilizada.

Avaliação de Fornecedores

No Brasil, Rocha e Netto (2002) desenvolveram um modelo para classificação de pedidos de fornecedores da PETROBRAS e premiação destes fornecedores utilizando DEA. Os fornecedores foram classificados de acordo com a sua eficiência com base em transações comerciais realizadas e classificados de acordo com as opiniões dos gestores, em seguida calcularam-se os rankings e definiram-se os melhores fornecedores.

Cadeia de Abastecimento

Easton, Murphy e Pearson (2002), nos Estados Unidos, apresentam DEA pelo método CCR como uma fer-

ramenta para a tomada de decisão, agregando “*supply chain management*” para melhorar a eficiência na cadeia de suprimentos. Foi uma evolução no uso da ferramenta. Outro estudo envolvendo a análise da eficiência da cadeia de abastecimento foi realizado por Ross e Droge (2004), usando o método BCC.

Governo

No Reino Unido, dois artigos apresentaram maturidade no uso da DEA, utilizando o índice de *Malmquist* nos trabalhos desenvolvidos por Kashini (2005a) e Kashini (2005b). O objetivo dos trabalhos eram testar à medida que a intervenção do estado cria ineficiências na plataforma continental da Noruega e ainda mostrar que as ineficiências geradas pelos órgãos governamentais não podem ser descartadas e estas, podem influenciar os contratos.

Refinarias de Petróleo

Jiehkun (2006) utilizou DEA na avaliação das refinarias de petróleo na China. Mekaroonreung (2007) e Mekaroonreung (2010) buscaram descrever e comparar vários métodos para estimar a eficiência técnica de 113 refinarias de petróleo nos Estados Unidos nos períodos de 2006 e 2007. Ali e Zahra (2008) aplicaram o método CCR para mensurar a eficiência e a produtividade das refinarias de petróleo no Irã. Enquanto que Sabah e Mustafa (2012) buscaram implementar a DEA para medir a eficiência relativa em uma amostra de refinarias de petróleo no Iraque em 2009 e 2010, aplicando o método CCR. Francisco et al. (2012) estudaram a eficiência das refinarias de petróleo no setor público com ênfase nos efluentes gerados e no consumo de água no processo de produção utilizando os métodos BCC e CCR. Há uma evolução no método quando aplicado por Zhang (2013), que introduziu o índice *Malmquist* para calcular a eficiência em 14 refinarias de petróleo durante o período de 2002 a 2010. Concluiu-se que a produtividade total dos fatores diminuiu na indústria de produtos petrolíferos internacionais.

Finanças

Liu (2007) aplicou DEA e os modelos Markovianos para analisar os custos de *Huabei Oil Company* da Petro China e mensurou os custos das metas. Aqui a DEA e os modelos Markovianos medem o custo de exploração da empresa de petróleo sendo verificado que é uma ferramenta adequada para esse tipo de estudo devido a ocorrência de múltiplos *inputs* e *outputs*.

Exportações

Hamid e Esmail (2009) empregou o modelo de Poter e DEA para avaliar a eficiência das exportações de petróleo e o investimento de estrangeiros nas empresas do Irã.

Energia

Song (2009) aplicou GM-DEA no planejamento de utilização de energia em empresas petrolíferas objetivando estabelecer um sistema GM-DEA para o planejamento da utilização de energia e aperfeiçoou os resultados previstos atingindo uma estrutura de utilização de energia otimizada.

Tecnologia

No estudo de Zhang et al. (2009) foram apresentadas propostas para uma abordagem de apoio à decisão híbrida utilizando os modelos dinâmicos DEA para determinar as alternativas de design mais preferíveis para sistemas de águas freáticas. O custo total do sistema de remediação, a quantidade de poços adicionais, e os requisitos de mão de obra foram empregadas como as variáveis de *input*, enquanto que a eficiência de remoção e viabilidade técnica são variáveis de *output*.

Faturamento

Processos estocásticos e o método CCR foram aplicados em 78 empresas onde houveram evidências sobre a eficiência referente ao faturamento das empresas nacionais do petróleo e as empresas petrolíferas internacionais (ELLER, 2011). O objetivo do trabalho foi realizar uma comparação da eficiência dos grupos de empresas e como resultado foi identificado que as nacionais são menos eficientes que as internacionais.

Meio Ambiente

Sueyoshi (2012a) aplicou DEA na área ambiental. Comparou-se o desempenho das empresas nacionais de petróleo com o desempenho de empresas internacionais. Como resultados, as empresas petrolíferas nacionais superaram as empresas internacionais de petróleo na eficiência sob descartabilidade natural. As empresas internacionais de petróleo superaram as empresas nacionais na eficiência sob descartabilidade gerencial. Em outro estudo Sueyoshi (2012b) aplica DEA na avaliação ambiental usando modelos DEA não radiais. Ismail et al. (2013) evoluíram nos métodos e aplicou o método CRS, indicadores de ecoeficiência, correlação de *Pearson e Spearman* na análise do desempenho ambiental e na eficiência econômica das operações globais de empresas selecionadas na indústria do petróleo através da análise da eficiência técnica. Song et al. (2015) aplicaram o modelo *Network DEA* para dividir pontuações de eficiência em 2 subunidades. Foram examinadas as mudanças na produção e a eficiência ambiental em 20 empresas petrolíferas na China.

Formação de preço

Xu e Ouenniche (2012) aplicaram o método CCR, nas previsões de volatilidade dos preços do petróleo bruto.

Essas previsões são insumos importantes para alguns processos aplicados como a macroeconomia política, a gestão de risco, a formação de preço e a gestão de carteiras. Utilizando DEA e a análise de multicritério, Lee et al. (2013), utilizaram cinco critérios: impacto econômico, potencial comercial, capacidade interna, técnica *spin-off*, e custo de desenvolvimento, para avaliar as tecnologias energéticas contra os preços elevados do petróleo.

Negócios

Para Wang, Lin e Murugesan (2013), a produção de petróleo da Índia não apresentava um crescimento significativo nos últimos dez ou mais anos, enquanto que sua capacidade de refino cresceu mais de 20% nos últimos cinco anos. O consumo de petróleo está crescendo em cerca de 4,1% por ano e o consumo de gás natural está crescendo em 68% ao ano. O objetivo do estudo era avaliar o desempenho da indústria de energia indiana sob vários *inputs* e *outputs*. Havia 14 empresas do setor público no âmbito desta indústria. No entanto, apenas 10 eram maduras o suficiente para ser publicado na Índia mercado de ações.

Reservatórios de Petróleo

Barros e Antunes (2014) analisaram a eficiência e a produtividade em blocos petrolíferos angolanos entre 2002 a 2008. Os resultados mostraram que os blocos de petróleo angolano obtiveram crescimento na produtividade. Além disso, a incidência da evolução tecnológica foi positiva. Foram aplicados o índice de *Malmquist* e o indicador de produtividade de *Luenberger*.

Posto de combustível

No trabalho proposto por Asayesh e Raad (2014) a DEA foi utilizada para avaliar a eficiência relativa de postos de gasolina no Irã e determinar sua eficiência relativa pelo método BCC. O modelo de supereficiência foi utilizado para determinar a unidade mais eficiente e determinar um ranking de desempenho das unidades tomadoras de decisão mais eficazes.

Sustentabilidade

De acordo com Sueyoshi e Wang (2014) para atingir um elevado nível de sustentabilidade empresarial, as empresas precisam medir o desempenho atual em termos de suas realizações operacionais e ambientais. Este estudo propôs o uso de DEA, pelo método CCR, para mensurar a sustentabilidade empresarial das empresas de petróleo nos Estados Unidos. Os resultados empíricos são úteis na preparação de estratégia de negócios e na política industrial para a indústria do petróleo.

CONCLUSÃO

A DEA é uma técnica matemática que analisa o desempenho, em termos de eficiência relativa, a partir de um conjunto de *inputs* e *outputs*. Verifica-se que é uma metodologia eficiente que auxilia no planejamento e tomada de decisão. Porém, na engenharia do petróleo tem uma aplicação pequena e insipiente.

A partir da análise das informações pesquisadas, verificou-se que, ao longo de 23 anos, rastreou-se apenas 33 publicações com aplicações da DEA na engenharia do petróleo. É um número muito pequeno e pouco significativo no contexto geral da utilização desta metodologia.

Japão, Estados Unidos e China são os três primeiros no ranking de publicações, mesmo assim com pequena quantidade de artigos. No ranking mundial, o Brasil encontra-se na

quarta posição, com 3 publicações, sendo uma no estudo da eficiência de refinarias de petróleo, uma no de postos de combustível, e outra na melhoria da gestão empresarial. Outras áreas merecem ser investigadas cientificamente e há que ser incentivado o desenvolvimento de pesquisas nas universidades. Talvez o uso restrito da DEA seja a dificuldade de softwares específicos, complexidade da metodologia, existência de poucos docentes com conhecimento técnico sobre o tema.

As principais áreas de aplicação da DEA são nos estudos da eficiência refinarias de petróleo, eficiência ambiental e eficiência das práticas de gestão empresarial. Os últimos trabalhos na área de economia do petróleo são da década de 90. Em nível de Brasil, merecem ser desenvolvidas linhas de pesquisa com aplicação de DEA na engenharia e geologia de reservatórios, exploração e exploração de petróleo, automação na indústria do petróleo e meio ambiente na indústria do petróleo e gás.

Publicação	País	Métodos	Aplicação
Thompson, Lee e Thrall (1992)	Estados Unidos	CCR, AR	Economia
Thompson, Dharmapala, Rothenberg, Thrall (1996)	Estados Unidos	CCR, AR	Economia
Sueyoshi (2000)	Japão	CCR, Processos estocásticos	Gestão
Rocha e Netto (2002)	Brasil	CCR	Avaliação de Fornecedores
Easton, Murphy e Pearson (2002)	Estados Unidos	Supply Chain Management + CCR	Cadeia de Abastecimento
Ross (2004)	Estados Unidos	BCC	Cadeia de Abastecimento
Kashani (2005)	Reino Unido	CCR, Análise de fronteira estocástica, Índice Malmquist e análise de regressão	Governo
Kashani (2005)	Reino Unido	CCR, Análise de fronteira estocástica, Índice Malmquist e análise de regressão	Governo
Vasconcellos, Canen e Lins (2006)	Brasil	Beanchmarking-DEA	Gestão
Jeikun, Zaixu e Yu (2006)	China	DEA, SVU	Refinarias
Liu, Wang e Bai (2007)	China	DEA, Modelos Markovianos	Finanças
Mekaroonreung (2007)	Estados Unidos	DEA + Medida de eficiência hiperbólica	Refinarias
Ali e Zahra (2008)	Irã	CCR	Refinarias
Hamid e Esmail (2009)	Irã	Modelos de Porter + DEA Malmquist	Exportações
Song (2009)	Japão	GM – DEA	Energia
Zhang, Huang, Li e Yu (2009)	China	Modelos dinâmicos	Tecnologia
Yurua e Dongkun (2009)	China	CCR + Regressão logística + Análise de Cluster	Gestão
Mekaroonreung e Johnson (2010)	Estados Unidos	DEA + Medida de eficiência hiperbólica	Refinarias
Eller, Hartley e Medlock III (2011)	Estados Unidos	CCR + Processos estocásticos	Faturamento
Rejin, Li e Jiatao (2011)	Japão	CCR	Gestão
Sueyoshi e Goto (2012)	Japão	Modelo não radial + RTS + DCS	Meio Ambiente
Sueyoshi e Goto (2012)	Japão	Modelo não radial	Meio Ambiente

Xu e Ouenniche (2012)	Japão	CCR	Formação de preço
Sabah e Mustafa (2012)	Iraque	CCR	Refinarias
Francisco, Almeida e Silva (2012)	Brasil	CCR + BCC	Refinarias
Lee, Mogi e Hui (2013)	Japão	DEA + Análise de multicritério	Formação de preço
Ismail et al. (2013)	Malásia	CRS, indicadores de ecoeficiência, correlação de Pearson e Spearman	Meio Ambiente
Zhang, Pan e Dong (2013)	China	DEA Malmquist	Refinarias
Wang, Lin e Murugesan (2013)	Índia	CCR	Negócios
Asayesh e Raad (2014)	Irã	Modelos de supereficiência	Posto de combustível
Barros e Antunes (2014)	Angola	Índice de Malmquist, indicador de produtividade de Luenbeger.	Reservatórios
Sueyoshi e Wang (2014)	Japão	CCR	Sustentabilidade
Song, Zhang e Wang (2015)	China	Network DEA	Meio Ambiente

QUADRO 1 – USO DA MODELAGEM DEA NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO NO PERÍODO DE 1992 A 2015

REFERÊNCIAS

- ALI, E. M.; ZAHRA, I. An assessment of technical efficiency and productivity of Iranian petroleum refineries: A DEA approach. *Journal Quartely Energy Economic Review*, v.5, 2008.
- ALMEIDA, M. R. de. **A eficiência dos investimentos do programa de inovação tecnológica em pequena empresa (PIPE): uma integração da Análise Envoltória de Dados e Índice Malmquist.** Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- ASAYESH, R.; RAAD, Z. F. Evaluation of the relative efficiency of gas station by *Data Envelopment Analysis*. *International Journal of Data Envelopment Analysis and operations Research*, 2014.
- BARROS, C.; ANTUNES, O. S. **Productivity change in the oil blocks of Angola.** *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2014.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in *Data Envelopment Analysis*. *Management Science*, v. 30, n. 9, 1984.
- CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. The economic theory of index numbers and the measurement of *input, output* and productivity. *Econometric*, v. 50, n. 6, 1982.
- CHARNES, A., COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, 1978.
- CHEN, Y.; IQBAL A. A. DEA *Malmquist* productivity measure: New insights with an application to computer industry. *European Journal of Operational Research*, v. 159, n. 1, 2004.
- EASTON, L.; MURPHY, D. J.; PEARSON, J. N. Purchasing performance evaluation: with *Data Envelopment Analysis*. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 2002.
- ELLER, S. L.; HARTLEY, P. R.; MEDLOCK III, K. B. Empirical evidence on the operational efficiency of National Oil Companies. *Empirical Economics*, May 2011.
- FARREL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, v. 120, n. 3, 1957.
- FORSUND, F.; SARAFLOU, N. On the origins of *Data Envelopment Analysis*. *Journal Productivity Analysis*, v. 17, n. 1/2, 2002.
- FRANCISCO, C.A.C.; ALMEIDA, M.R. de; SILVA, D.R. da. Efficiency in Brazilian Refineries Under Different DEA Technologies. *International Journal of Engineering Business Management*, Ago. 2012.
- GOMES, E.G.; SOARES DE MELO, J.C.; ESTELLITA, L.M.P. Redistribuição de *inputs* e *outputs* em modelos de análise envoltória de dados com ganhos de soma zero. *Pesquisa Operacional*, v. 24, n. 2, 2004.
- HAMID, K.H.S.; ESMAEIL, S. Measurement and sensitivity analysis of relative efficiency in now-petroleum exports of Iran and selected countries: A DEA approach. *Quartel Journal of New Economy & Commerce*, v. 5, 2009.
- ISMAIL, Z.; TAI, J.C.; KONG, K.K.; LAW, K.H.; SHIRAZI, S.M.; KARIM, R. Using *Data Envelopment Analysis* in comparing the environmental performance and technical efficiency of selected companies in their global petroleum operations. *Measurement*, v.46, p. 3401-3413, 2013.
- JIEKUN, S.; ZAIXU, Z.; YU, Z. **DEA-based performance evaluation for oil refining enterprises.** *Techno-economics in Petrochemicals*, 2006.
- KASHANI, H.A. State intervention causing inefficiency: an empirical analysis of the Norwegian Continental Shelf. *Energy Policy*, v.33, p.1998-2009, 2005a.
- KASHANI, H. A. **Regulation and efficiency:** an empirical analysis of the United Kingdom continental shelf petroleum industry. *Energy Policy*, 2005b.
- LEE, S.K.; MOGI, G.; HUI, K.S. A fuzzy analytic hierarchy process (AHP)/*Data Envelopment Analysis* (DEA) hybrid model for efficiently allocating energy R&D resources: In the case of energy technologies against high oil prices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, May. 2013.

- LIU, J.; WANG, M.; BAI, Y. Using DEA and Grey Markovian Model to Measure the Goal Cost of Petroleum Enterprise. **Computacional Science**, v.4489, 2007.
- Malmquist, S. Index numbers and indifference surfaces. **Trabajos de Estadística**, v. 4, p. 209–242, 1953.
- MEKAROONREUNG, M. Estimating the efficiency of American petroleum refineries under varying assumptions of the disposability of bad *outputs*. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 4, 2007.
- MEKAROONREUNG, M.; JOHNSON, A.L. Estimating the efficiency of American petroleum refineries under varying assumptions of the disposability of bad *outputs*. **International Journal of Energy Sector Management**, v.4, p. 356-398, 2010.
- RENJIN, S.; LI, T.; JIATAO, L. **A study on Data Envelopment Analysis based refinery performance evaluation method**. Sino-Global Energy, 2011.
- ROCHA, R.B.; NETTO, M.A.C. A *Data Envelopment Analysis* model for rank ordering suppliers in the oil industry. **Pesquisa Operacional**, v.22, 2002.
- ROSS, A.D.; DROGE, C. An analysis of operations efficiency in large-scale distribution systems. **Journal of Operations Management**, 2004.
- SABAH M.A.; MUSTAFAA.A. Application of *Data Envelopment Analysis* to Measure the Technical Efficiency of Oil Refineries: A Case Study. **International Journal of Business Administration**, v. 13, 2012.
- SANT'ANNA, A.P.; OLIVEIRA, C.A. de. Complementando DEA com o cálculo probabilístico de produtividades globais na comparação de desempenhos em um segmento do setor público. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XXXIV., 2002. **Anais...** Rio de Janeiro, 8 a 11 de novembro, 2002.
- SONG, M.; ZHANG, J.; WANG, S. Review of the network environmental efficiencies of listed petroleum enterprises in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, March 2015.
- SONG, J. **Energy utilization planning of oilfield enterprises based on GM and DEA**. Resources & Industries, 2009.
- SUEYOSHI, T. Stochastic DEA for restructure strategy: an application to a Japanese petroleum company. **Omega**, v. 28, 2000.
- SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Returns to scale and damages to scale under natural and managerial disposability: Strategy, efficiency and competitiveness of petroleum firms. **Energy Economics**, v.34, 2012.
- _____. *Data Envelopment Analysis* for environmental assessment: Comparison between public and private ownership in petroleum industry. **European Journal of Operational Research**. 2012.
- SUEYOSHI, T.; WANG, D. Sustainability development for supply chain management in U.S. petroleum industry by a DEA environmental assessment. **Energy Economics**, v. 46, November 2014.
- THOMPSON, R.G.; LEE, E.; THRALL, R.M. DEA/AR-efficiency of U.S. independent oil/gas producers over time. **Computers & Operations Research**, v.19, p. 377, July 1992.
- THOMPSON, G.R.; DHARMAPALA, P.S.; ROTHENBERG, L.J.; THRALL, R.M. DEA/AR efficiency and profitability of 14 major oil companies in U.S. exploration and production. **Computers & Operations Research**, v.23, p.357, April 1996.
- VASCONCELLOS, V.A.; CANEN, A.G.; LINS, M.P.E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação *Benchmarking-DEA*: o caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v.26, p.51, 2006.
- WANG, C.; LIN, L.; MURUGESAN, D. Analyzing PSU's performance: a case from Ministry of Petroleum and Natural Gas of India. **Mathematical Problems in Engineering**, 2013.
- YURUA, Z.; DONGKUN, L. Investment Optimization in oil and gas plays. **Petroleum Exploration and Development**, v. 36, August 2009.
- XU, B.; OUENNICHE, J. A *Data Envelopment Analysis*-based framework for the relative performance evaluation of competing crude oil prices' volatility forecasting models. **Energy Economics**, v.34, March 2012.
- ZHANG, X.; HUANG, G.H.; LIN, Q.; YU, H. Petroleum-contaminated groundwater remediation systems design: A *Data Envelopment Analysis* based approach. **Expert Systems with Applications**, v.36, 2009.
- ZHANG, H.X.; PAN, C.X.; DONG, X. **Study on refined oil operating efficiency of international oil companies**. International Business, 2013.
- Arisse cavem adduc mod inpracci se nos haccipimor linprox mortumum iaestam rei suam deret estrunt ermitilis? Nihicae