

# MODELO DEA-SAVAGE PARA ANÁLISE DE EFICIENCIA DO PARQUE DE REFINO BRASILEIRO

**Hugo Luís do Nascimento Pimenta**

Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, CEP: 24210-240, Niterói, RJ  
hlnpimenta@yahoo.com.br

**João Carlos Correia Baptista Soares de Mello**

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ  
jcsmello@producao.uff.br

## Resumo

Neste trabalho propõe-se a associação da Análise Envoltória de Dados (DEA) ao método de Savage, também conhecido como método ponderado ou método realista de tomada de decisão, permitindo a ponderação entre a fronteira otimista (DEA clássica) e a fronteira pessimista (fronteira invertida). O modelo proposto, chamado de DEA-SAVAGE, baseia-se na variação do coeficiente de otimismo ( $\alpha$ ), permitindo a realização de uma análise de sensibilidade da eficiência das DMU's. O modelo DEA-SAVAGE foi aplicado ao estudo de caso do desempenho do parque de refino brasileiro na produção de derivados de petróleo no período de 1992 a 2001, onde as DMU's são o parque de refino em cada ano, os *inputs* são o petróleo disponível e a capacidade de refino e, o *output* é a produção dos derivados anual.

**Palavras-chave:** DEA – SAVAGE – Petróleo – Refino.

## Abstract

In this paper we propose the use of DEA (Data Envelopment Analysis) with Savage method, also known as balanced method or realistic method of decision making. The new model, called DEA-SAVAGE allows the balance among the classic DEA frontier and the inverted frontier. It's based on the optimism coefficient ( $\alpha$ ) variation, allowing a sensibility analysis of the DMU' s efficiency. DEA-SAVAGE was applied to the Brazilian refining performance case study. *Inputs* of the model are the available petroleum and the refining capacity and *output* are the annual refinery throughput.

**Keywords:** DEA – SAVAGE – Petroleum – Refining.

## 1. INTRODUÇÃO

A técnica de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é capaz de avaliar o grau de eficiência relativa de unidades produtivas que realizam uma mesma atividade, quanto à utilização dos seus recursos. A medida de eficiência é obtida através da razão da soma ponderada dos produtos pela soma ponderada dos insumos. Esta técnica permite analisar desempenho de unidades produtivas (DMUs) em produzir múltiplos produtos (*outputs*) através de múltiplos insumos (*inputs*) (Angulo Meza, 1998), ou seja, em transformar os inputs em *outputs* quando comparada com as outras unidades observadas.

O resultado é a construção de uma fronteira de produção, também denominada de fronteira eficiente, linear por partes, de tal forma que as empresas que possuem a melhor relação "produto/insumo" serão consideradas mais eficientes e estarão situadas sobre esta fronteira e, as menos eficientes estarão situadas numa região inferior à fronteira, conhecida como envelope (envoltória).

DEA é extremamente benevolente no cálculo das eficiências. Em diversas situações esta fronteira de eficiência é insuficiente para discriminação das DMUs mais eficientes, ou seja, situações onde se observa um grande número de DMUs eficientes. Uma DMU pode atingir 100% de eficiência atribuindo peso alto a um input e a um output, e peso zero para as demais variáveis (Soares de Mello, 2002). Estas variáveis que receberam peso zero estão sendo desconsideradas da análise. Desta forma, podem surgir as DMUs chamadas de “falsas eficientes”, ou “eficientes isoladas”, pois quando são analisadas pelos pesos definidos por outra DMU, observa-se uma perda de eficiência.

Invertendo-se os *outputs* e os *inputs*, obtém-se uma fronteira invertida (Novaes, 2002; Entani et al., 2002), cujo enfoque pode ser interpretado de duas formas. A primeira é que a fronteira consiste das DMUs com as piores práticas gerenciais (e poderia ser chamada de fronteira ineficiente); a segunda é que essas mesmas DMUs têm as melhores práticas considerando o ponto de vista oposto (Soares de Mello et al., 2005).

A Análise Envoltória de Dados pode ser considerada uma medida de excelência (ARAYA, 2003), uma vez que premia as DMUs com as melhores práticas observadas. Isso é dado através da fronteira de eficiência padrão. No entanto, a fronteira invertida permite analisar as DMUs com pior desempenho. A combinação destes dois índices permite uma classificação mais acurada das unidades como eficientes ou ineficientes, impedindo que uma DMU seja avaliada apenas pelos seus resultados mais favoráveis e isso é conseguido sem a atribuição de nenhum peso subjetivo a qualquer critério (Leta et al., 2005).

A utilização da fronteira invertida permite uma análise mais sofisticada do problema, uma vez que esta avalia as DMUs naquilo em que elas são ineficientes, ou seja, a DMU deve “especializar-se” naquilo em que ela possui excelência e não deve possuir um desempenho ruim nas outras tarefas. Além disso, a fronteira invertida permite a identificação de DMUs consideradas “falsa eficientes”, ou seja, DMUs que são avaliadas como eficientes através da fronteira padrão e consideradas ineficientes através da fronteira invertida, caracterizando uma falsa eficiência (Pimenta et al., 2004).

Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho da produção de derivados no Brasil no período de 1992 a 2001, através de índices de eficiência, relacionando a produção dos derivados, a capacidade de refino e o petróleo disponível. Para tal serão utilizadas as ferramentas matemáticas de Análise Envoltória de Dados (DEA) associadas ao Método de Savage. Os índices de eficiência gerados pelo modelo permitirão uma análise sobre a eficiência do parque de refino nacional na produção de derivados de petróleo em cada ano.

## 2. MODELO DEA-SAVAGE

Nos modelos de Análise Envoltória de Dados os pesos atribuídos a cada variável (*inputs* e *outputs*) são escolhidos pelas próprias DMUs e, por isso, a eficiência obtida através da fronteira padrão é resultado das melhores práticas de cada DMU. Este é o chamado método otimista onde o modelo favorece a avaliação as DMUs. Por outro lado, a fronteira invertida mostra o resultado da ineficiência das DMUs, ou seja, a avaliação das DMUs é realizada através de suas piores práticas. Este método, chamado de método pessimista, admite-se a avaliação mais desfavorável para cada DMU. Estes modelos serão apresentados posteriormente.

Segundo Tavares et al. (1996) o método de Savage (Savage, 1950), usado para decisões com incerteza, introduz uma ponderação entre o método otimista e o método pessimista. A Equação 1 apresenta este método, onde  $\alpha$  corresponde ao coeficiente de ponderação,  $i$  representa cada opção de decisão (variável controlável),  $j$  representa os cenários possíveis (variável não controlável),  $\min_j K(i, j)$  equivale a admitir que o "resto do mundo" joga o mais possível a favor do decisor, e  $\max_j K(i, j)$  equivale a admitir que o "resto do mundo" joga da forma mais desfavorável.

$$\alpha \min_j K(i, j) + (1 - \alpha) \max_j K(i, j)$$

**Equação 1.** Método de SAVAGE (Tavares et al., 1996)

O método de Savage, também conhecido como método ponderado ou método realista de tomada de decisão, pode ser associado a Análise Envoltória de Dados (DEA), permitindo a ponderação entre a fronteira otimista (DEA clássico) e a fronteira pessimista (1-DEA invertido). Um exemplo prático da utilização do método de Savage em modelos DEA é a Eficiência Composta calculada através do software SIAD (Angulo Meza et al., 2004), onde o valor do coeficiente de ponderação ( $\alpha$ ) é de 50%, ou seja, os métodos otimista e pessimista possuem o mesmo peso no cálculo da Eficiência Composta, que também poderia ser chamada de eficiência ponderada.

A definição de um coeficiente de ponderação entre os métodos otimista e pessimista gera um novo problema, que é a interferência do decisor no momento da definição deste coeficiente. O decisor deverá tomar muito cuidado na determinação deste coeficiente, uma vez que o mesmo atuará diretamente sobre os valores de eficiência obtidos através da ponderação. Coeficientes de ponderação com valores mais elevados (acima de 50%) favorecem as melhores práticas observadas na avaliação de DMU, dando menor importância à avaliação de cada DMU através da fronteira ineficiente. Por outro lado, coeficientes com valores mais baixos (abaixo de 50%) dão maior ênfase a avaliação das DMUs pelas suas piores práticas. Os valores extremos de 100% e 0% para este coeficiente levam, respectivamente, aos resultados de eficiência da fronteira padrão e da fronteira invertida.

Na Equação 2 observa-se que a eficiência composta  $Ef_{SAVAGE}$  é calculada através da ponderação entre os valores da eficiência padrão  $F_o$  do DEA e a ineficiência em relação à fronteira invertida  $F_p$ .

$$Ef_{SAVAGE} = \alpha.F_o + (1 - \alpha).(1 - F_p)$$

**Equação 2.** Modelo DEA-SAVAGE

O valor de  $\alpha$  deverá estar no intervalo entre 0 e 1 e, quanto maior for o valor de  $\alpha$ , mais benevolente será a avaliação e, para valores baixos de  $\alpha$  a avaliação será mais agressiva.

Diferente da aplicação direta do método de Savage, onde se define um coeficiente de otimismo ( $\alpha$ ) único, realizar-se-á uma análise de sensibilidade da eficiência das DMU's para diversos valores do coeficiente de otimismo ( $\alpha$ ). Este modelo, chamado de DEA-SAVAGE, permitirá uma avaliação mais detalhada de cada DMU.

As DMUs que mantiverem o seu nível de eficiência alto independente do valor escolhido como coeficiente de ponderação poderão ser consideradas as “verdadeiras” eficientes, enquanto, DMUs que tiverem uma queda do seu nível de eficiência com a redução do valor do coeficiente de ponderação serão consideradas ineficientes, uma vez que obtêm maiores níveis de eficiência quando a avaliação lhes é favorável, mas não possuem um bom desempenho quando avaliadas através do método pessimista.

### **3. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EFICIENCIA DO PARQUE DE REFINO BRASILEIRO**

#### **3.1. Introdução**

Atualmente a indústria do petróleo é o maior negócio do mundo e calcula-se que movimente entre dois e cinco trilhões de dólares. (Economides e Oligney, 2000). Ela é composta de um vasto complexo que inclui campos de petróleo, plataformas marítimas, milhares de quilômetros de oleodutos, reservatórios gigantes, refinarias, sistemas computadorizados para administrar o fluxo de combustível até os consumidores finais e postos de abastecimento, bem como milhares de fabricantes de produtos derivados, desde lubrificantes e fertilizantes até plásticos e medicamentos (Rifkin, 2003).

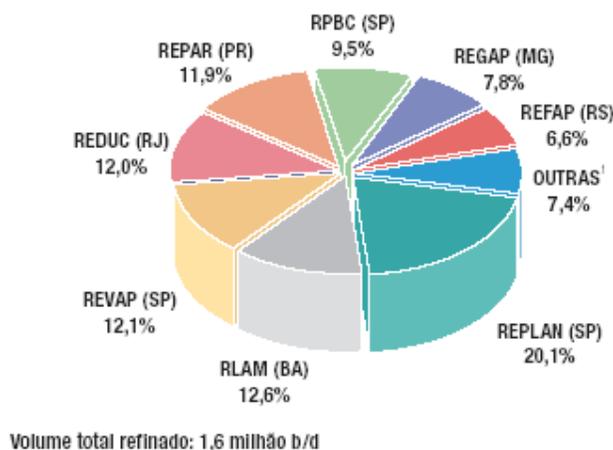
No setor de refino o perfil de produção deve adequar-se à demanda de derivados do mercado. O refinador deve ser cuidadoso ao distinguir as propriedades de cada tipo de petróleo bruto, uma vez que as refinarias são construídas de modo a trabalhar com uma matéria prima específica. Por exemplo, se uma refinaria resolvesse processar um petróleo bruto de alto conteúdo de enxofre usando um sistema destinado a materiais de baixa taxa sulfúrica, o maquinário seria corroído e os danos chegariam à casa das centenas de milhões de dólares (Rifkin, 2003). O parque de refino brasileiro, que havia sido projetado inicialmente para processar petróleo leve, importado principalmente do Oriente Médio, precisou ser adequado para produzir combustível usando o petróleo brasileiro que, em sua maior parte, é do tipo pesado.

Ao longo das décadas de 80 e 90, as refinarias nacionais sofreram continuamente diversas adaptações, também chamadas de *revamps* (*revision and ampliation*), visando ao aumento progressivo da capacidade de processamento de petróleos pesados, ao aumento na capacidade de conversão de frações pesadas e à melhoria da qualidade de derivados.

O parque brasileiro de refino é constituído por 14 refinarias nacionais, cuja capacidade nominal e efetiva de refino em 2001 era de 1,9 milhão de barris/dia e 1,7 milhão de barris/dia respectivamente, segundo dados da Agência Nacional do Petróleo. Destas refinarias, doze pertenciam a Petrobrás e responderam por 98,6% da capacidade total, e duas eram privadas: Manguinhos, pertencente a Repsol-YPF, e Ipiranga, pertencente ao Grupo Ipiranga.

No ano de 2002, foi processado pelo parque de refino nacional uma média de aproximadamente 1,6 milhão barris/dia de petróleo (586,6 milhões de barris no ano), volume este 2,3% inferior ao processado em 2001 (600,6 milhões de barris no ano). Em relação à origem do petróleo processado nas refinarias nacionais, a quantidade de óleo nacional transformado nas refinarias brasileiras aumentou 1,7%, enquanto a quantidade importada decresceu 14,2% entre 2001 e 2002. Do total de petróleo processado em 2002, 77,6% eram de origem nacional (ANP – Anuário Estatístico, 2004).

A Figura 1 mostra a participação das principais refinarias na transformação do petróleo em derivados. Em 2002, a REPLAN foi responsável por 20,1% do volume total de petróleo processado no País, refinando uma média diária de 323,7 mil barris. Esta refinaria também foi a que processou a maior quantidade de petróleo de origem nacional, 21,4% do total. Já a REDUC, no estado do Rio de Janeiro, responsável por 12,0% do volume total processado no país, foi a refinaria que transformou a maior parte do petróleo importado, 25,7% do total. Todo o petróleo processado nas refinarias Ipiranga (RS) e Manguinhos (RJ) em 2002 foi de origem importada, enquanto na RLAM (BA) o petróleo de origem nacional representou 98,5% do volume total de óleo processado no ano (ANP – Anuário Estatístico, 2004).



**Figura 1** – Participação das refinarias no refino de petróleo (ANP, 2004).

Para atender ao perfil de consumo de derivados do mercado brasileiro, o Brasil realiza importações e exportações de derivados e petróleo bruto, uma vez que o parque de refino nacional possui limitações de capacidade de processamento dos diversos tipos de petróleo. A maior parte do petróleo produzido no país é do tipo pesado, de baixo grau API, que não pode ser totalmente processado no país. Desta forma, o Brasil exporta parte deste óleo pesado e importa um óleo mais leve para fazer uma mistura adequada à capacidade técnica das refinarias nacionais (Lima, P.C.R., 2003).

No ano de 2002, para complementar o suprimento nacional, foram importados petróleo, seus derivados e gás natural pelo Brasil. O volume importado de petróleo atingiu 139,4 milhões de barris (381,9 mil barris/dia). Relativamente ao ano de 2001, este volume foi reduzido em 8,6%, retomando a tendência de queda das importações de petróleo verificada desde 1996 e contrariada apenas em 2001. As exportações brasileiras de petróleo atingiram 85,8 milhões de barris (235,0 mil barris/dia) em 2002. Novamente, conforme verificado em 2001, houve um aumento relevante do volume de petróleo exportado pelo país (112,1%) (ANP – Anuário Estatístico, 2004).

### 3.2. Modelagem

O objetivo deste trabalho é medir a eficiência do parque de refino nacional no período de 1992 a 2001. Cada ano será considerado uma unidade tomadora de decisão (*Decision Making Unit – DMU*) e terá sua eficiência relativa determinada de forma quantitativa. O modelo irá comparar as DMUs através dos *inputs* que são **petróleo disponível** para refino, em mil barris, e a **capacidade instalada** do parque de refino, em m<sup>3</sup> d/o. O único *output* do modelo é a **produção anual de derivados** de petróleo, em mil m<sup>3</sup>. A variável **petróleo disponível** pode ser expressa pela Equação 3 e os dados utilizados para o seu cálculo são apresentados na Tabela 1.

$$\text{Petróleo Disponível} = (\text{Produção de petróleo} + \text{Importação de petróleo}) - \text{Exportação de petróleo}$$

**Equação 3.** Variável Petróleo Disponível

Petróleo Disponível para Refino										
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>Produção de Petróleo (mil barris)</b>	229859	234798	243823	252955	286851	307144	355922	402061	451885	473112
<b>Importação de Petróleo (mil barris)</b>	202056	183724	202364	182548	202299	202049	190920	169703	145427	152777
<b>Exportação de Petróleo (mil barris)</b>	-	-	-	1837	742	931	-	207	7145	42367
<b>Petróleo Disponível para Refino (mil barris)</b>	431914	418522	446187	433666	488408	508262	546842	571556	590168	583522

**Tabela 1.** Petróleo Disponível para Refino (ANP – Anuário Estatístico, 2003)

O número reduzido de variáveis – *inputs* e *outputs* – aumenta o poder discriminatório do modelo DEA (Soares De Mello et al., 2002). Não é necessário converter os *inputs* e os *outputs* para unidades monetárias (Gomes et al., 2003), pois o DEA é capaz de trabalhar com múltiplos *inputs* e múltiplos *outputs*, todos utilizando unidades e escalas diferentes, ou seja, é invariante com relação à escala. A Tabela 2 traz os dados que serão utilizados no cálculo da eficiência do parque de refino nacional.

DMUs	Inputs		Outputs
	Petroleo_disponivel	Capacidade_Instalada	Produção_de_derivados
<b>1992</b>	431915,00000	241680,00000	71093,00000
<b>1993</b>	418522,00000	239080,00000	73196,00000
<b>1994</b>	446187,00000	246580,00000	76969,00000
<b>1995</b>	433666,00000	247880,00000	75675,00000
<b>1996</b>	488405,00000	247880,00000	78922,00000
<b>1997</b>	508262,00000	291100,00000	82525,00000
<b>1998</b>	546842,00000	292841,00000	90290,00000
<b>1999</b>	571557,00000	308841,00000	93796,00000
<b>2000</b>	590167,00000	311841,00000	96162,00000
<b>2001</b>	583522,00000	305025,00000	100806,00000
<i>Unidades:</i>	<i>(em mil b)</i>	<i>(em m3 d/o)</i>	<i>(em mil m3)</i>

**Tabela 2.** Matriz de dados utilizada no modelo DEA

O modelo DEA escolhido para solução deste problema foi o modelo DEA CCR (Charnes et al., 1978), pois permite uma avaliação menos benevolente e possui maior caráter discriminatório que o modelo BCC (Banker et al., 1984). O modelo foi orientado a *input*, pois deseja-se obter o mesmo nível de *outputs*, minimizando os recursos disponíveis, ou seja, deseja-se produzir derivados para atender a demanda do mercado, utilizando para isso a menor quantidade possível de petróleo cru. Nesta abordagem, minimizar o petróleo disponível significa reduzir as importações de petróleo e/ou aumentar as exportações de petróleo. Uma outra abordagem possível, mas que não foi considerada neste trabalho, é a orientação do modelo a *outputs*, onde deseja-se maximizar a produção de derivados (*output*), com o mesmo nível de recursos disponíveis (*inputs*).

O modelo CCR constrói uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados. Utiliza retornos constantes de escala, onde qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas (*outputs*). Este modelo, apresentado no Modelo 1, determina a eficiência pela divisão entre a soma ponderada das saídas e a soma ponderada das entradas (Gomes et al., 2003).

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } h_0 &= \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \\ \text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &\leq 0 \\ u_j, v_i &\forall x, y \end{aligned}$$

**Modelo 1.** Modelo CCR orientado a input (Lins e Angulo Meza, 2000)

### 3.3. Resultados

O modelo DEA CCR orientado a *input*, apresentado no Modelo 1, foi aplicado aos dados contidos na tabela 1. Os resultados, obtidos através do software SIAD (Angulo Meza et al., 2004), podem ser observados abaixo na tabela 3.

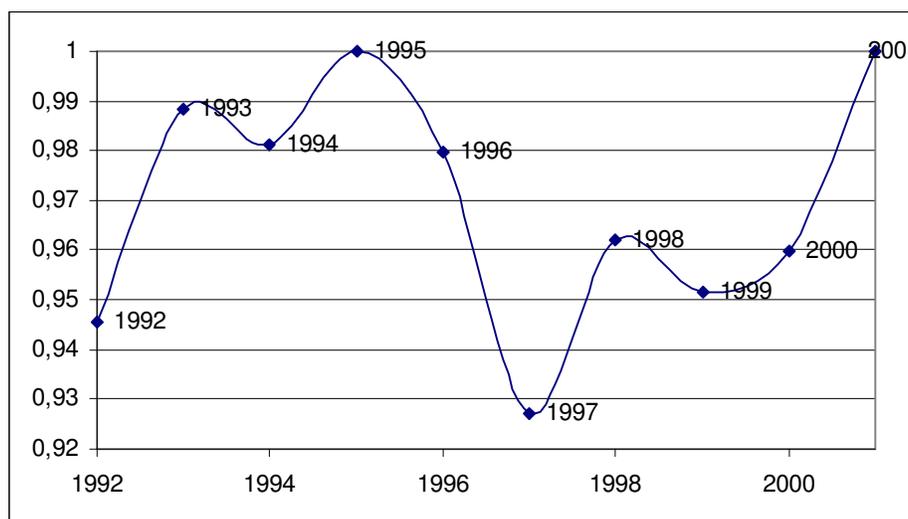
DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
1992	0,9457	0,98399	0,48086	0,90622
1993	0,98854	0,94095	0,52379	0,98714
1994	0,98137	0,94912	0,51613	0,97269
1995	<b>1</b>	0,94147	0,52926	0,99745
1996	0,9796	<b>1</b>	0,4898	0,92308
1997	0,92698	<b>1</b>	0,46349	0,87349
1998	0,96207	0,98798	0,48705	0,91789
1999	0,95171	0,98295	0,48438	0,91287
2000	0,96	0,99329	0,48335	0,91093
2001	<b>1</b>	0,93877	0,53062	<b>1</b>

**Tabela 3.** Eficiência do parque de refino nacional  
\*eficiência normalizada

Os resultados obtidos através da fronteira padrão mostram os anos de 1995 e 2001 como sendo os anos onde o parque de refino nacional foi mais eficiente na utilização dos seus recursos para produção de derivados de petróleo, enquanto os anos de 1992 e 1997 indicam uma menor eficiência.

Utilizando os recursos da fronteira invertida e da eficiência composta, podemos obter uma melhor discriminação dos resultados. A fronteira invertida denunciou os anos de 1996 e 1997 como sendo os anos em que o parque de refino foi ineficiente. Isso confirma a baixa eficiência indicada pela fronteira padrão no ano de 1997.

O gráfico 1 mostra a evolução da eficiência do parque de refino nacional ano a ano, através dos resultados da fronteira padrão. Neste gráfico observa-se claramente uma queda na eficiência do parque de refino no ano de 1997, que é recuperada nos anos seguintes.



**Gráfico 1.** Eficiência padrão do parque de refino nacional

A Equação 4 apresenta a eficiência composta, que é o resultado da análise da DMU através da ponderação entre os resultados de eficiência obtidos através das fronteiras padrão e invertida. O resultado é obtido através da média aritmética entre a eficiência padrão e o valor obtido da subtração da eficiência invertida pela unidade e, a eficiência composta normalizada (Composta \*) é obtida dividindo o valor da eficiência composta pelo maior valor entre todos os valores de eficiência composta (Angulo Meza et al., 2004).

$$\text{Eficiência Composta} = (\text{Eficiência Padrão} + (1 - \text{Eficiência Invertida})) / 2$$

$$\text{Eficiência Composta}^* = \text{Eficiência Composta} / \text{Max} (\text{Eficiência Composta})$$

**Equação 4.** Eficiência Composta e Eficiência Composta Normalizada

Os resultados obtidos através da fronteira composta, normalmente, permitem uma melhor discriminação das DMUs. Neste caso, estabelecemos um ranking de eficiência para as fronteiras padrão e composta na Tabela 4, e não observam-se mudanças consideráveis na classificação das DMUs. A única alteração ocorreu entre os anos de 2000 e 1999, que alternaram na 7ª e 8ª posições.

DMU	Rank (Padrão)	Padrão	Rank (Composta*)	Composta*
2001	1	1	1	1
1995	1	1	2	0,99745
1993	3	0,98854	3	0,98714
1994	4	0,98137	4	0,97269
1996	5	0,9796	5	0,92308
1998	6	0,96207	6	0,91789
2000	7	0,96	8	0,91093
1999	8	0,95171	7	0,91287
1992	9	0,9457	9	0,90622
1997	10	0,92698	10	0,87349

**Tabela 4.** Ranking de eficiência do parque de refino nacional para as fronteiras padrão e composta\*  
\*eficiência normalizada

### 3.4. Aplicação do Método DEA-SAVAGE

A aplicação do modelo DEA-SAVAGE ao caso em estudo permite uma análise de sensibilidade da eficiência do parque de refino nacional através da variação do coeficiente de otimismo ( $\alpha$ ).

Observamos que a Eficiência Composta, calculada anteriormente, corresponde ao modelo de ponderação com coeficiente  $\alpha = 0,5$ .

$$\begin{aligned} \text{Eficiência Composta} &= Ef_{SAVAGE} = \alpha.F_o + (1 - \alpha).(1 - F_p) = 0,5.F_o + (1 - 0,5).(1 - F_p) \\ &= 0,5.F_o + 0,5.(1 - F_p) = \frac{1}{2}.(F_o + (1 - F_p)) \end{aligned}$$

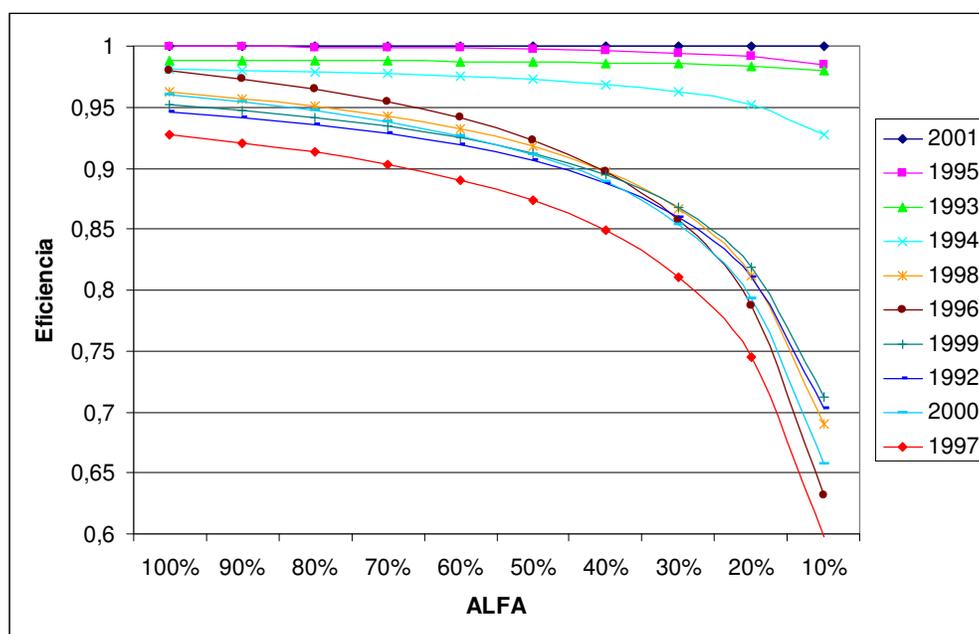
Na Tabela 5 estão os resultados obtidos através da ponderação entre a fronteira padrão e a fronteira invertida, variando o valor do coeficiente  $\alpha$  de 0.1 a 1.0, em intervalos de 0.1, na equação 2. Os valores de eficiência apresentados nesta tabela estão normalizados.

DMU	ALFA ( $\alpha$ )									
	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
2001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1995	1	0,9997	0,9993	0,9989	0,9983	0,9975	0,9963	0,9945	0,9913	0,9843
1993	0,9885	0,9884	0,9882	0,9879	0,9876	0,9871	0,9865	0,9855	0,9838	0,9800
1994	0,9814	0,9804	0,9791	0,9775	0,9755	0,9727	0,9687	0,9626	0,9518	0,9279
1998	0,9621	0,9569	0,9505	0,9425	0,9320	0,9179	0,8977	0,8663	0,8114	0,6900
1996	0,9796	0,9730	0,9648	0,9546	0,9412	0,9231	0,8972	0,8571	0,7869	0,6316
1999	0,9517	0,9472	0,9416	0,9345	0,9253	0,9129	0,8951	0,8675	0,8193	0,7125
1992	0,9457	0,9411	0,9354	0,9282	0,9189	0,9062	0,8881	0,8602	0,8111	0,7026
2000	0,9600	0,9543	0,9472	0,9383	0,9266	0,9109	0,8885	0,8537	0,7927	0,6579
1997	0,9270	0,9207	0,9130	0,9033	0,8906	0,8735	0,8490	0,8111	0,7446	0,5976

**Tabela 5.** Índices de eficiência DEA-SAVAGE para diversos valores de  $\alpha$ .

O Gráfico 2 contém a variação dos valores de eficiência de cada DMU para diferentes coeficientes de otimismo ( $\alpha$ ). O gráfico está com o eixo orientado ao contrário, de forma que a

eficiência despenca com o pessimismo para a maioria das DMUs. Neste caso, estas DMUs possuem baixo desempenho em alguma relação *output/input*, embora seu desempenho seja razoável em outra.



**Gráfico 2.** Eficiência DEA-SAVAGE para diversos valores de  $\alpha$ .

É interessante observar que as DMUs que apresentaram melhor desempenho (2001, 1993 e 1995), independentemente do grau de otimismo do decisor, pois mantiveram seu nível de eficiência praticamente constante.

A DMU 1994 teve uma queda leve no seu nível de eficiência, enquanto as demais DMUs tiveram uma queda acentuada do seu nível de eficiência à medida que o valor do coeficiente de ponderação foi reduzido, com destaque para a DMU 1996 que possui uma redução muito acentuada no seu nível de eficiência, caindo da 5ª para a 9ª posição. Esta DMU é um exemplo de que quando avaliada através de suas melhores práticas apresenta um bom desempenho, mas quando avaliada pela fronteira invertida apresenta um mau desempenho.

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo DEA oferece uma contribuição significativa neste estudo de caso por permitir a avaliação da eficiência técnica relativa do parque de refino nacional com a mínima interferência do avaliador, indicando numa análise inicial os anos em que houve melhor desempenho na transformação de múltiplos insumos em múltiplos produtos. No entanto, a utilização da fronteira invertida e da fronteira composta permite uma melhor avaliação do desempenho das DMUs. Além disso, esta combinação entre as fronteiras padrão e invertida aumentam o poder discriminatório do DEA, pois resolver um dos principais problemas dos modelos clássico, em que as DMUs podem ser eficientes atribuindo peso nulo a vários multiplicadores (Lins e Angulo Meza, 2000).

A combinação entre os modelos DEA e SAVAGE é uma evolução da fronteira composta, pois permite uma avaliação de desempenho mais precisa das DMUs através da variação do nível de otimismo (coeficiente  $\alpha$ ), que no caso da fronteira composta é fixo. No modelo DEA-SAVAGE as DMUs são avaliadas através de diferentes ponderações permitindo que a DMU seja analisada através

de diversas combinações entre seus resultados mais favoráveis e seus resultados menos favoráveis, permitindo a identificação de DMUs “falsa eficientes”.

Neste modelo, as DMUs que mantiverem o seu nível de eficiência alto independente do valor escolhido como coeficiente de ponderação poderão ser consideradas as “verdadeiras” eficientes, enquanto, DMUs que tiverem uma queda do seu nível de eficiência com a redução do valor do coeficiente de ponderação serão consideradas ineficientes.

A combinação entre os modelos DEA e SAVAGE como ferramenta de avaliação mostrou-se bastante promissora, pois permitiu a realização de uma análise de sensibilidade da eficiência das DMU's para diversos valores do coeficiente de otimismo ( $\alpha$ ).

Os próximos desenvolvimentos envolvem a aplicação do modelo DEA-SAVAGE a casos de avaliação de eficiência com incerteza em uma das variáveis.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural*. Agencia Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, 2004.

*Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural*. Agencia Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, 2003.

Angulo Meza, L.; Biondi Neto, L.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Gomes, E.G.; Coelho, P.H.G. *FSDA – Free Software for Decision Analysis (SLAD – Software Livre de Apoio à Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Models* In: Memórias del XII Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa - CLAIO, 2004.

Angulo Meza, L., Gomes, E.G., Soares de Mello, J.C.C.B., Biondi Neto, L. *Fronteira DEA de dupla envoltória no estudo da evolução da ponte aérea Rio-São Paulo*. Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro, RJ, Novembro, 2003b.

Angulo Meza, L. *Data envelopment analysis na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ*. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

Araya, M.C.G., *Projeções Não Radiais em Regiões Fortemente Eficientes da Fronteira DEA – Algoritmos e Aplicações*, Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

Banker, R.D., Charnes A., Cooper W.W., *Some Models For Estimating Technical And Scale Inefficiencies In Data Envelopment Analysis*. Management Science, V. 30, N. 9, PP. 1078-1092, 1984.

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.

Economides, Michael; Oligney, Ronald. *The Color of Oil: The History, the Money and the Politics of the World's Biggest Bussiness*. Katy, TX: Round Oak Publishing, p.100, 2000.

Entani, T., Maeda, Y. & Tanaka, H. *Dual Models of Interval DEA and its extensions to interval data*. European Journal of Operational Research, 136, 32-45, 2002.

Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Biondi Neto, L. *Avaliação de Eficiência por Análise de Envoltória de Dados: Conceitos, Aplicações à Agricultura e Integração com Sistemas de Informação Geográfica* – Embrapa, 2003.

Leta, F.R.; Soares de Mello, J.C.C. B.; Gomes, E. G., Angulo Meza, L. *Métodos De Melhora De Ordenação em DEA Aplicados à Avaliação Estática de Tornos Mecânicos*. Investigação Operacional, v. 25, 2005.

Lima, P.C.R. *A Viabilidade de uma Refinaria de Petróleo no Brasil, Especialmente no Norte Fluminense*, Consultoria Legislativa, 2003.

Lins, M.P.E. & Angulo Meza, L. *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão*. Editora da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

Novaes, L.F.L. (2002). *Envoltória Sob Dupla ótica aplicada na avaliação imobiliária em ambiente do sistema de informação geográfica*. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Produção, UFRJ, Rio de Janeiro, Dezembro.

Pimenta, H.L.N., Macedo, M.A., Soares de Mello, J.C.C.B. *Decisão de realização de investimentos em tecnologia da informação com análise envoltória de dados*. Revista Produção Online. Florianópolis: v.4, n.2, p.1 – 16, 2004.

Rifkin, J. *A Economia do Hidrogênio*. 1ª Edição. M. Books do Brasil Ltda. São Paulo, 2003.

Savage, L. *The Foundations of Statistics*, Willey, 1950.

Soares De Mello, J.C. C. B.; Gomes, E. G.; Angulo Meza, L., Biondi Neto, L., Sant'anna, A.P. *Fronteiras DEA difusas*. *Investigação Operacional*, v. 25, n. 1, 2005.

Soares de Mello, J.C.C.B.; Gomes, E.G.; Soares de Mello, M.H.C.; Lins, M.P.E. *Método Multicritério para Seleção de Variáveis em modelos DEA*. Revista Pesquisa Naval, v.15, p. 55-66, 2002.

Soares de Mello, J.C.C.B. *Suavização da Fronteira DEA com o Uso de Métodos Variacionais*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

Tavares, L.V.; Oliveira, R.C.; Themido, I.H.; Correia, F.N. *Investigação Operacional*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, p.401-405, 1996.