



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

# **EFICIENCIA E A IMPORTÂNCIA DO CAPITAL NATURAL NO DESENVOLVIMENTO**

**RICARDO SÁ CANDÉA BARRETO; JOÃO BENIGNO MESQUITA FILHO;**

**UFC**

**FORTALEZA - CE - BRASIL**

**RCSB@VICOSA.UFV.BR**

**PÔSTER**

**AGRICULTURA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

# **EFICIENCIA E A IMPORTÂNCIA DO CAPITAL NATURAL NO DESENVOLVIMENTO**

## **RESUMO**

O artigo discute as diferenças de desempenho produtivo entre 114 países, com base na metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA). Tendo como motivação o fato de que os modelos tradicionais de crescimento econômico raramente examinam os problemas ecológicos gerados por uma sociedade capitalista moderna, assim este tipo de modelo não se aproxima de problemas essenciais da realidade atual. Os dados utilizados foram extraídos do Banco Mundial e ESI no ano de 2002. Os resultados indicam que os países Kuwait e Trinidad e Tobago possuem maior eficiência na transformação de capital físico e capital natural (insumos) em crescimento/desenvolvimento (PIB per capita), de forma a orientar os agentes produtivos na busca contínua da melhor alocação dos fatores de produção, e ainda na dinâmica do desenvolvimento econômico.

**Palavras-Chave:** DEA, Países, Capital natural.

## **1. INTRODUÇÃO**

O propósito deste artigo é analisar e verificar empiricamente a relação entre capital natural e capital físico no PIB per capita em uma amostra de 114 países, dentro da armação teórica de um modelo neoclássico de crescimento econômico e tentar responder a seguinte questão: Dada uma economia com recursos naturais finitos, qual o mais alto padrão de vida que pode ser mantido para sempre?

Sabe-se que os ecossistemas naturais têm capacidade limitada de sustentação que, superada, influirá na sua própria deterioração. Qualquer ameaça contra o equilíbrio ecológico impede o desenvolvimento sustentável, traduzindo-se, por sua vez, em uma ameaça, não apenas à produção, mas à própria subsistência humana. A qualidade de vida, assim como a produtividade e a eficiência dependem sempre do equilíbrio ecológico.

Neste tocante, apesar da extrema relevância da contribuição do capital físico, buscar-se-á também verificar a influência que o capital natural tem sobre a elevação do PIB per capita (padrão de vida) e na promoção da eficiência econômica dos países analisados.

Este artigo segue a mesma linha de alguns estudos empíricos como aqueles de Grossman e Krueger (1995), que mostram que a relação entre PIB per capita e emissão de poluentes toma a forma de U-invertido, denominada na literatura de curva ambiental de Kuznets<sup>1</sup>. Segue ainda a linha dos trabalhos de Arraes e Diniz (2004) cujo objetivo principal foi apresentar para uma análise cross-country, novas evidências empíricas que confirmam a curva de Kuznet ambiental, verificando se essa evidência se replica para outras “variáveis ambientais”, pelo menos do ponto de vista das proposições do desenvolvimento sustentável como: saneamento, abastecimento de água, desnutrição, taxa de mortalidade, expectativa de vida, alfabetização de adultos e dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>. A intenção foi verificar diferentes dimensões ambientais e sua forma de relação com o crescimento.

Acreditando que essas preocupações são de relevância crucial para envidar o crescimento econômico, este artigo tem como objetivo visualizar e modelar alternativas para lidar com esse crescimento de forma a incluir a dinâmica da sustentabilidade ambiental. Na presente pesquisa, pretende-se dar uma contribuição adicional às linhas de trabalhos que vêm sendo realizadas. A contribuição consiste em explicar as diferenças da performance produtiva entre 114 países, com base na metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA).

Além dessa introdução, em que foram apontadas algumas considerações gerais, a estrutura do trabalho subdividiu-se em aspectos teóricos, que englobam os referenciais teórico e analítico, especificando-se um modelo adaptado do modelo de crescimento neoclássico tradicional. Em seguida, utiliza-se uma metodologia baseada na Análise Envoltória de Dados – DEA; a posteriori, fazem-se uma exposição e uma análise dos resultados, finalizando-se o trabalho, com as conclusões.

## **2 ASPECTOS TEÓRICOS**

### **2.1. A visão neoclássica**

A Economia Neoclássica tem seu desenvolvimento se alicerça na racionalidade de maximização das utilidades individuais com a resultante determinação do uso “ótimo” ou “eficiente” dos recursos, em equilíbrio. E o tratamento para a questão ambiental pela Economia Neoclássica, condizentemente, também está baseado nesta mesma racionalidade. Entretanto, conforme será visto, esta racionalidade não guarda compromisso com a racionalidade subjacente à idéia de sustentabilidade. O “uso ótimo” e o “uso sustentável” são categorias que atendem a critérios distintos: o de eficiência e o de equidade, respectivamente (PEARCE e ATKINSON, 1995, p.166). A questão fundamental que se coloca para a Economia Neoclássica é como compatibilizar “otimalidade” com “sustentabilidade”.

Existem duas abordagens neoclássicas para a questão ambiental: a Economia da Poluição e a Economia dos Recursos Naturais. A Economia da Poluição analisa os recursos ambientais no seu papel de depositário de rejeitos, outputs indesejáveis dos processos produtivos. A Economia dos Recursos Naturais, por sua vez, analisa os recursos ambientais no seu papel de matérias-primas, de inputs para os processos produtivos. Assim, a Economia Neoclássica desenvolveu duas distintas construções teóricas, elegendo em cada uma distintos

---

<sup>1</sup> A relação de “U” invertido entre crescimento econômico e distribuição da renda pessoal, observada inicialmente por Kuznets (1955) para os EUA, Grã-Bretanha e Alemanha, tem sua explicação calcada essencialmente no diferencial de rendimentos na transição de uma economia agrícola para uma economia industrial, como reflexo da diferença dos produtos marginais do trabalho entre os dois setores.

aspectos da problemática ambiental, a serem empregados dependendo da relação que os recursos ambientais guardam com os processos produtivos: inputs ou outputs (AMAZONAS, 1998).

Desta forma, a Economia da Poluição, entendendo o ambiente como um bem público, de uso comum, define os danos ambientais como externalidades negativas. Em outras palavras, o agente privado torna-se "poluidor" devido ao fato de o caráter de bem público dos recursos naturais lhe permitir não internalizar em suas obrigações tais custos sociais ambientais. Com a emergência de externalidades, passando a diferir os custos privados dos custos sociais, a quantidade efetiva (privadamente gerada) de poluição torna-se superior à quantidade socialmente "ótima"<sup>2</sup>. (AMAZONAS, 1994).

Cabe aqui ressaltar que a Economia da Poluição, nesta sua formulação padrão, associa as externalidades aos casos de poluição, ou seja, aos recursos ambientais depositários de outputs indesejáveis dos processos produtivos. Entretanto, o uso dos recursos ambientais como inputs para os processos produtivos, com a decorrente possibilidade de exaustão, também significa custos sociais<sup>3</sup>. Por outro lado, esta é também uma abordagem fundamentalmente estática, não tratando o problema intertemporal. Por estes motivos, a Economia da Poluição não constitui uma base para se pensar sobre a questão da sustentabilidade.

A segunda abordagem, a Economia dos Recursos Naturais, lida com os aspectos da extração e exaustão dos recursos naturais ao longo do tempo. Com este procedimento de otimização intertemporal, argumenta-se que um recurso exaurível terá sido utilizado ao longo do tempo da melhor forma socialmente possível, ou seja, de forma "socialmente ótima". No caso dos recursos renováveis, inclui-se no modelo um fator (natural ou devido à reciclagem) de reposição do recurso (AMAZONAS, 1994).

Por ser uma análise intertemporal, a Economia dos Recursos Naturais é para a Economia Neoclássica a base para a discussão da sustentabilidade e da justiça para com as gerações futuras. Alguns aspectos, entretanto devem também ser destacados, particularmente tendo-se este fato em mente.

Deste modo, visando tratar o problema da sustentabilidade, o caminho natural tomado pela Economia Neoclássica está na extensão do modelo intertemporal, de modo a incluir neste modelo também os custos sociais ambientais, as externalidades; ou seja, um caminho que leva a uma certa fusão entre a Economia da Poluição e a Economia dos Recursos Naturais, duas abordagens originalmente construídas para dois diferentes objetos e com dois diferentes propósitos, mas que, em última instância, repousam sobre um problema geral maior: a sustentabilidade no uso dos recursos ambientais.

Neste sentido, a problemática como sugerido por (LIMA, 1999) segue a perspectiva do conceito de capital natural, em que os ativos ambientais são tratados guardando uma considerável similaridade com as formas manufaturadas ou artificiais de capital, viabilizando assim a obtenção de resultados definidos sob a forma de indicadores variados de sustentabilidade.

O fundamento central para mostrar a existência do estado estacionário com rigor teórico parte do pressuposto de que os indivíduos, em um horizonte de tempo infinito, maximizam uma função utilidade, tendo como único argumento o consumo, e, ao final, produto e capital per capita cresceriam a uma taxa constante.

Considera-se a seguinte análise simplificada, expressando a função de produção agregada na forma de Cobb-Douglas:

$$Y = e^{ct} L^g D^L K^{1-g-h} \quad (1)$$

<sup>2</sup> A isto, a economia neoclássica classifica como um problema de "falha de mercado".

<sup>3</sup> Dispersos intertemporalmente para as gerações futuras, sendo por isso menos diretos e evidentes.

Em que o termo constante tem um valor justo maior do que 1, e seus expoentes  $c$  e  $t$  referem-se à taxa técnica de mudança e tempo em anos, respectivamente.

Dividindo por  $L$ , para expressar alguma coisa em termos per capita, obtém-se:

$$\frac{Y}{L} = e^{ct} \left(\frac{D}{L}\right)^h \left(\frac{K}{L}\right)^{1-g-h} \quad (2)$$

Usando esta representação do processo de produção agregada, enfatiza-se a questão mencionada por Solow (1956) em um artigo bastante conhecido. Em uma economia com recursos naturais finitos, qual o mais alto padrão de vida que pode ser mantido para sempre?

(1). Assume-se que não existe progresso tecnológico (isto é, que  $c = 0$  e  $e^{ct}$  é constante). Se  $K/L$  permanece constante e  $D/L$  se aproxima de zero, enquanto os recursos são usados complementarmente,  $Y/L$  deve eventualmente aproximar-se de zero. O padrão per capita de vida eventualmente cairá para zero. Contudo, se  $K/L$  é permitido crescer sem limite, enquanto  $D/L$  torna-se menor,  $Y/L$  pode permanecer positivo para sempre. Acúmulo do capital, sem restrição, pode compensar pela exaustão de recurso.

(2). Mas se a população ( $L$ ) continua a crescer na visão de Malthus, a regra matemática insiste que deverá haver uma fronteira superior em  $K/L$ . A implicação é clara: com crescimento exponencial da população,  $Y/L$  deve, eventualmente, aproximar-se de zero. Uma maneira aberta é segurar a população constante, permitindo a  $K/L$  crescer sem limite e restaurando o mais complacente resultado encontrado no parágrafo (1). Então, o mais alto padrão de vida que pode ser mantido para sempre é positivo, dependendo diretamente do estoque inicial de capital por trabalhador.

(3). O progresso tecnológico, pela colocação de  $c > 0$ , aumenta com o tempo. Para qualquer valor de  $c$ , é possível calcular a taxa de crescimento de  $L$  que é consistente com  $Y/L$ , permanecendo positivo e constante. O progresso tecnológico pode compensar para algum crescimento na população. Com crescimento tanto na tecnologia como na população, as conseqüências em termos do decorrer do tempo de  $Y/L$  dependem dos números. Padrões de vida podem crescer através do tempo, permanecer constantes, ou cair, dependendo se a tecnologia pode mais do que, exatamente, ou menos do que compensar pelo crescimento da população.

Esta simples análise é altamente instrutiva, à medida que focaliza a atenção nos fatores que podem limitar o progresso humano (crescimento da população e esgotamento de recursos) e daqueles que promovem uma base para o otimismo dentro da perspectiva humana (acúmulo de capital e desenvolvimento tecnológico). A conseqüência depende de como estas influências são arranjadas.

(a). A função de produção de Cobb-Douglas tem algumas propriedades especiais. Ela assume retornos à escala de produção. Mais importante, ela assume elasticidade de substituição constante entre os insumos de produção. Daí, apesar de parecer clássica à primeira vista ( $Y$  depende de  $D$ ,  $K$ ,  $L$ ), ela é de fato decididamente neoclássica. Com a elasticidade de substituição constante entre  $K$  e  $L$ , não existe nada de especial sobre  $D$ . Não é somente o capital ( $K$ ) um bem substituto para recursos naturais ( $D$ ), sendo imparcial como um substituto para a última unidade de  $D$  como era para a primeira. E esta pressuposição crucial permite a descoberta de que o padrão de vida pode ser mantido, enquanto  $D$  se aproxima de zero e  $K$  do infinito, simultaneamente.

(b). A questão levantada (pode algum padrão de vida constante ser mantido para sempre?) expressa um ponto de vista sublinhado sobre como as pessoas se sentem através do

bem-estar das gerações que nascerão depois que todas elas tiverem morrido. Implica que as pessoas sintam que cada geração, não importa a que distância, teria oportunidades similares.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1. Base de Dados

Os dados para a seção empírica deste trabalho foram obtidos trabalhando com diferentes bancos de dados. O primeiro é o banco de dados oriundo dos Indicadores de Desenvolvimento Mundiais – WDI(2005)<sup>4</sup> O segundo banco de dados é da ESI (2002)<sup>5</sup>, Índice de Sustentabilidade Ambiental, cuja distribuição no mundo pode ser observada no mapa em ANEXO.

As fontes dos dados e as variáveis utilizadas são especificadas a seguir:

- a.) D - Capital Natural, ESI (2002);
- b.) K/L- capital por trabalho (KAPW – Capital per worker); Y/L – PIB per capita (GDPCH - Real GDP per capita) extraídos do WDI (2005).

Esses bancos de dados internacionais são amplamente referenciados em estudos empíricos, notadamente sobre o crescimento econômico de países e regiões, uma vez que as informações disponíveis são sistematizadas de acordo com metodologias que possibilitam cada vez mais comparações reais entre diferentes economias.

O modelo especificado na Equação 2 é aplicado para uma amostra anual composta de 114 países no período de 2002 dentro da metodologia DEA. Para minimizar a possibilidade de viés de seleção, a seleção da amostra decorreu do critério de escolha do maior número possível de países em que houvesse disponibilidade, em bancos de dados confiáveis, de informações sobre capital físico. Como muitos países, notadamente os países em desenvolvimento, possuem limitadas informações, a disponibilidade de informações sobre capital físico e capital natural definiu o limite inferior da amostra.

#### 3.2. Pressuposição do modelo DEA

O conceito de eficiência econômica foi proposto por Farrel (1957) e possui dois componentes distintos: o primeiro é a eficiência técnica, que representa a habilidade de produzir o máximo possível dado o nível de recursos disponíveis; o segundo é a eficiência alocativa, que significa a habilidade de a firma alocar de forma ótima um determinado conjunto de insumos, segundo os preços e tecnologias existentes. Estas duas medidas combinadas correspondem à eficiência econômica.

Com base nas análises de eficiência, os autores Charnes, Cooper e Rhodes (1978) deram início ao estudo da abordagem não-paramétrica para a análise de eficiência relativa de firmas com múltiplos insumos e múltiplos produtos, cunhando o termo Data Envelopment Analysis (DEA). Vale ressaltar que, na literatura relacionada aos modelos DEA, uma firma é

---

<sup>4</sup> World Development Indicators (WDI) – Indicadores do Desenvolvimento Mundial – é uma compilação anual de dados sobre o desenvolvimento. O WDI 2005 inclui aproximadamente 800 indicadores em 87 tabelas organizadas em seis seções: Panorama do Mundo, Gente, Meio Ambiente, Economia, Estados e Mercados e Vínculos Globais. A versão impressa do WDI 2005 oferece dados atualizados dos últimos anos. Para séries de dados de 1960 em diante, consultar a versão do WDI em CD-ROM ou on-line em: <[www.worldbank.org/data/onlinebases/onlinebases.html](http://www.worldbank.org/data/onlinebases/onlinebases.html)>.

<sup>5</sup> O Environmental Sustainability Index - ESI (2002), desenvolvido pelas Universidades de Yale e Colúmbia, com o apoio do World Economic Forum para 142 países, incorpora indicadores que traduzem a capacidade política/ institucional de resposta a mudanças na condição da sustentabilidade ambiental no médio/ longo prazos.

tratada como DMU (decision making unit), uma vez que estes modelos provêm uma medida para avaliar a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão.

Segundo Kandori e Allen (2001), a análise envoltória de dados (DEA) é uma metodologia estabelecida para a avaliação de desempenho homogêneo de decision making unit (DMUs). Contudo, nesta pesquisa, o problema principal ao usar DEA no contexto ecológico é a suposição fundamental de que um DMU possa alcançar eficiência, coeteris paribus, de quantidades maiores de produções (PIB per capita) e contribuições de quantidades menores (insumos), preferivelmente. Produções indesejáveis (desperdício ou emissões) são proeminentes no contexto ecológico.

### 3.3. Descrição do modelo DEA

Considere-se que existam  $k$  insumos e  $m$  produtos para cada  $n$  DMUs. São construídas duas matrizes: a matriz  $X$  de insumos, de dimensões  $(k \times n)$ , e a matriz  $Y$  de produtos, de dimensões  $(m \times n)$ , representando os dados de todas as  $n$  DMUs. Na matriz  $X$ , cada linha representa um insumo e cada coluna representa uma DMU. Já, na matriz  $Y$ , cada linha representa um produto e cada coluna, uma DMU. Assim, para a  $i$ -ésima DMU, são representados os vetores  $x_i$  e  $y_i$ , respectivamente, para insumos e produtos. Para cada DMU, pode-se obter uma medida de eficiência que é a razão entre todos os produtos e todos os insumos. Para a  $i$ -ésima DMU, tem-se:

$$\text{Eficiência da } DMU_i = \frac{u' y_i}{v' x_i} = \frac{u_1 y_{1i} + u_2 y_{2i} + \dots + u_m y_{mi}}{v_1 x_{1i} + v_2 x_{2i} + \dots + u_k y_{ki}} \quad DMU_i \quad (3)$$

Em que  $u$  é um vetor  $(m \times 1)$  de pesos nos produtos e  $v$  um vetor  $(k \times 1)$  de pesos nos insumos. Note-se que a medida de eficiência será um escalar, devido às ordens dos vetores que a compõem.

A pressuposição inicial é de que esta medida de eficiência requeira um conjunto comum de pesos que será aplicado em todas as DMUs. Entretanto, existe uma certa dificuldade em obter um conjunto comum de pesos para determinar a eficiência relativa de cada DMU. Isso ocorre porque as DMUs podem estabelecer valores para os insumos e produtos de modos diferentes e, então, adotar diferentes pesos. É necessário estabelecer um problema que permita que cada DMU possa adotar o conjunto de pesos que for mais favorável em termos comparativos, com as outras unidades.

Para selecionar os pesos ótimos para cada DMU, especifica-se um problema de programação matemática. Para a  $i$ -ésima DMU, tem-se: □□□

$$MAX_{u,v} (u' y_i / v' x_i), \quad (4)$$

Sujeito a:

$$u' y_j / v' x_i \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$u, v \geq 0.$$

Essa formulação envolve obter valores para  $u$  e  $v$ , de tal forma que a medida de eficiência para a  $i$ -ésima DMU seja maximizada, sujeitando-se à restrição de que as medidas de eficiência de todas as DMUs sejam menores ou iguais a um. Caso a eficiência obtida para a DMU que está sendo testada seja igual a um, ela será eficiente em relação às demais; caso contrário, será ineficiente.

O modelo linearizado possui a seguinte forma: □□□

$$MAX_{u,v} (u' y_i), \quad (5)$$

sujeito a :

$$v' x_i = 1,$$

$$u' y_j - v' x_i \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$u, v \geq 0.$$

Por meio da dualidade em programação linear, tem-se:

$$MIN_{\theta, \lambda} \theta, \tag{6}$$

sujeito a :

$$-y_j + Y\lambda \geq 0,$$

$$\theta x_i + X\lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0.$$

Em que  $\theta$  é uma escalar, cujo valor será a medida de eficiência da  $i$ -ésima DMU. Caso o valor de  $\theta$  seja igual a um, a DMU será eficiente; em caso contrário, será menor que um. Já  $\lambda$  é um vetor ( $n \times 1$ ) de constantes, cujos valores são calculados de forma a obter a solução ótima. Para uma DMU eficiente, todos os valores de  $\lambda$  serão zero. Já, para uma DMU ineficiente, os valores de  $\lambda$  serão os pesos utilizados na combinação linear de outras DMUs eficientes que influenciam na projeção da DMU ineficiente sobre a fronteira calculada. Isso significa que, para uma unidade ineficiente, existe ao menos uma unidade eficiente, cujos pesos calculados fornecerão a DMU virtual da unidade ineficiente através de combinação linear. As unidades eficientes que, quando combinadas, fornecem a DMU virtual para a unidade ineficiente, são conhecidas como pares ou benchmarks daquela DMU.

O modelo, nessa forma, pressupõe retornos constantes à escala, podendo ser reformulado com o objetivo de possibilitar retornos variáveis às DMUs analisadas. Essa proposta foi, inicialmente, feita por Banker, Charnes e Cooper (1984), cujo modelo ficou conhecido como BCC, devido às iniciais dos nomes dos autores.

### 3.4. Retornos de escala no modelo DEA

O uso da especificação de retornos constantes, quando nem todas as DMUs estão operando em escala ótima, resultará em medidas de eficiência técnica que podem ser confundidas com eficiência de escala. A utilização da especificação de retornos variáveis permite o cálculo das eficiências técnicas livres desses efeitos de escala.

O problema de programação linear com retornos constantes pode ser modificado para atender à pressuposição de retornos variáveis, adicionando-se uma restrição de convexidade. Considerando-se o modelo dual, tem-se:

$$MIN_{\theta, \lambda} \theta, \tag{7}$$

sujeito a :

$$-y_j + Y\lambda \geq 0,$$

$$\theta x_i + X\lambda \geq 0,$$

$$N_1' \lambda = 1,$$

$$\lambda \geq 0.$$

Em que  $N_1$  é um vetor ( $n \times 1$ ) de uns. Essa abordagem forma uma superfície convexa de planos em interseção, a qual envolve os dados de forma mais compacta do que a superfície formada pelo modelo com retornos constantes. Com isso, os valores obtidos para eficiência técnica, com a pressuposição de retornos variáveis, são maiores do que aqueles obtidos com retornos constantes.

Os valores de eficiência técnica, obtidos no modelo com retornos constantes, podem ser divididos em dois componentes: um devido à ineficiência de escala e outro devido à pura ineficiência técnica. Para separar essas medidas, realiza-se um procedimento, conduzindo ambos os retornos constantes e variáveis ao mesmo conjunto de dados. Se existir uma

diferença nos valores de eficiência técnica para uma DMU qualquer, isso indica que esta DMU tem ineficiência de escala, que pode ser calculada pela diferença entre os valores das eficiências técnicas com retornos variáveis e com retornos constantes.

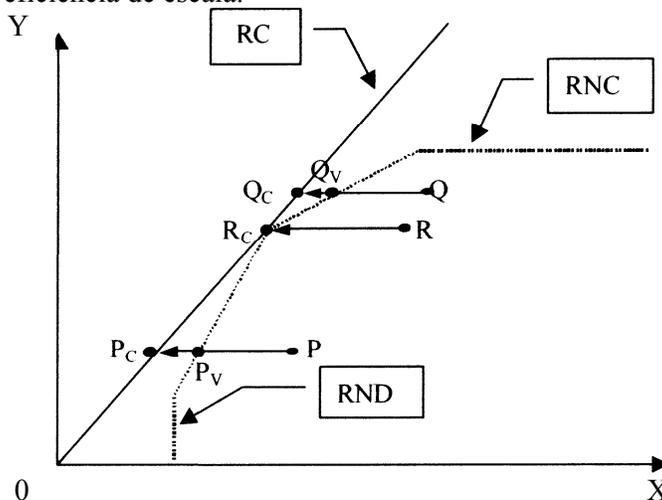
A Figura 2 ilustra uma situação que envolve um insumo e um produto. Podem-se traçar as fronteiras eficientes calculadas pela DEA, isto é, a fronteira obtida com retornos constantes (RC) e a obtida com retornos variáveis (RV), sendo esta última descrita pela linha pontilhada.

Considere-se o ponto P na Figura 1. Na pressuposição de retornos constantes, a ineficiência técnica do ponto P é dada pela distância PPC, enquanto a ineficiência técnica é dada pela distância PPV, com a pressuposição de retornos variáveis. A diferença entre essas duas, PCPV, fornece a ineficiência de escala. As medidas de eficiência do ponto P, em termos de razão, isto é, limitadas entre zero e um, são dadas por:

$$\begin{aligned} ET_{I,RC} &= AP_C / AP, \\ ET_{I,RV} &= AP_V / AP, \\ EE_{I,RV} &= AP_C / AP_V, \end{aligned} \tag{8}$$

Em que o subscrito I indica modelos com orientação insumo; RC, retornos constantes; e RV, retornos variáveis.

Como  $AP_C/AP = (AP_V/AP) \times (AP_C/AP_V)$ , então  $ET_{I,RC} = ET_{I,RV} \times EE_{I,RV}$ , isto é, a medida de eficiência técnica com retornos constantes à escala é composta pela eficiência técnica pura e pela eficiência de escala.



**Figura 1** - Eficiência técnica e eficiência de escala.

**Fonte:** Finamore, Gomes e Dias (2004).

Uma falha dessa medida de eficiência de escala é que ela não indica se a DMU está operando na faixa de retornos crescentes ou decrescentes à escala. Sabe-se apenas que, se a medida de eficiência de escala for igual a um, a firma estará operando com retornos constantes à escala; no entanto, se for menor que um, poderão ocorrer retornos crescentes ou decrescentes. Para contornar essa situação, é necessário formular outro problema de programação, impondo a pressuposição de retornos não crescentes ou não decrescentes. Considerando-se o caso de retornos não crescentes, a formulação consiste em alterar a pressuposição de retornos variáveis no modelo DEA. Para isso, basta substituir a restrição  $N1\lambda = 1$ , em (7), pela restrição  $N1\lambda \leq 1$ .

A fronteira obtida para o modelo com retornos não crescentes (RNC) está plotada na Figura 1. Ela é composta, inicialmente, por uma faixa da fronteira com retornos constantes, com origem em 0, e, depois, por uma faixa da fronteira de retornos variáveis. Para determinar

a natureza da escala de uma DMU qualquer, basta verificar se o coeficiente de eficiência técnica no modelo com retornos não crescentes é igual ao do modelo com retornos variáveis. Se forem diferentes, como é o caso do ponto P, então a DMU terá retornos crescentes à escala. Se forem iguais, como é o caso do ponto Q, ocorrerá uma situação de retornos decrescentes, isto é,

se  $ET_{RNC} = ET_{RV} \rightarrow \square$  Retornos decrescentes,

se  $ET_{RNC} \neq ET_{RV} \rightarrow \square$  Retornos crescentes.

De forma alternativa, pode-se formular um problema de programação, impondo a pressuposição de retornos não decrescentes à escala. Para isso, basta substituir a restrição  $N1\lambda \leq 1$ , no modelo com retornos não crescentes, pela restrição  $N1\lambda \geq 1$ .

Assim, para identificar se a firma e/ou o setor estão operando com retornos crescentes ou decrescentes, basta comparar o resultado encontrado para eficiência técnica no modelo com retornos variáveis (RV), com aquele encontrado no modelo com retornos não decrescentes (RND), ou seja,

se  $ET_{RND} = ET_{RV} \rightarrow \square$  Retornos crescentes,

se  $ET_{RND} \neq ET_{RV} \rightarrow \square$  Retornos decrescentes.

Após executar os modelos DEA, as DMUs podem ser classificadas segundo duas categorias:

1) De acordo com a pura eficiência técnica obtida no modelo pressupondo-se retornos variáveis.

Nesse caso, as DMUs podem ser tecnicamente eficientes ou ineficientes. As DMUs eficientes são aquelas que estão produzindo uma quantidade compatível com o uso dos insumos; por outro lado, as ineficientes estão utilizando em excesso os insumos. Isso significa que, para se tornarem eficientes, podem-se reduzir os insumos, mantendo-se a mesma produção, ou, de modo equivalente, aumentar a produção, utilizando os mesmos insumos.

2) De acordo com a eficiência de escala obtida pela razão entre as medidas de eficiência técnica nos modelos com retornos constantes e variáveis.

Nessa categoria, as DMUs podem estar operando com retornos constantes, crescentes ou decrescentes. A produção com retornos constantes é conhecida como escala ótima. Assim, a DMU operando com retornos crescentes está abaixo da escala ótima, necessitando expandir a produção. Já a operação com retornos decrescentes implica uma situação acima da escala ótima, indicando necessidade de reduzir o volume produzido ou melhorar a tecnologia, ou seja, deslocar a fronteira de produção (ajustes qualitativos).

#### 4. RESULTADOS

Com base no modelo DEA, obtêm-se os resultados sobre a eficiência técnica (retornos constantes e variáveis), a eficiência de escala e o tipo de retorno. Como foi salientado na metodologia, os valores de eficiência técnica podem ser decompostos em eficiência técnica pura e eficiência de escala. Para que isso seja possível, conduzem-se os procedimentos de retornos constantes e retornos variáveis ao mesmo conjunto de dados. A eficiência de escala é calculada pela diferença entre os valores das eficiências técnicas com retornos variáveis e com retornos constantes. Para ambos os casos, valores iguais a um indicam o melhor desempenho e, quanto mais próximos de zero, maior o grau de ineficiência.

Iniciando com o pressuposto de retornos constantes de escala para os 114 países analisados, verifica-se que apenas dois (Trinidad e Tobago e o Kuwait), conforme Tabela 1, obtiveram eficiência máxima, encontrando-se então na fronteira de produção. O nível médio de eficiência técnica da amostra foi de 0,86 ou 86%. Isto significa que, em média, estes países

podem obter o mesmo desempenho reduzindo em até 14% os insumos utilizados. Retirando a pressuposição de retornos constantes e adicionando a pressuposição de retornos variáveis, verifica-se que 23 desses países alcançaram eficiência máxima, sendo que, os dois países com eficiência igual a um, no modelo de retornos constantes, também tiveram o mesmo desempenho no modelo de retornos variáveis. Condição essa obrigatória para que se atinja a eficiência técnica plena.

Separando os países por blocos e analisando a eficiência por continentes, Tabela 1, observa-se que a Europa tem o melhor resultado, com uma eficiência média de 0,91 ou 91%, o que significa uma ineficiência média de 9%. Dividindo a Europa em áreas geográficas, destaca-se o desempenho dos países nórdicos (Dinamarca, Finlândia, Islândia, Noruega e Suécia), com uma média de eficiência de 97%. Os 3% de ineficiência, mostrados na Tabela 1, são causados exclusivamente pela ineficiência de escala devida aos retornos decrescentes. Finamore, Gomes e Dias (2004) encontraram uma DMU tecnicamente eficiente, porém operando acima da escala ótima, ocorrendo aumento da produção com custos crescentes. Um meio de resolver esta situação seria a adoção de uma política qualitativa, em que um aumento da produtividade dos fatores possibilitaria um aumento de produção sem a utilização de mais fatores.

Na Europa central, três países encontram-se na mesma condição dos nórdicos com eficiência técnica e ineficiência de escala causadas por retornos decrescentes (Áustria, Irlanda e Suíça). Os outros seis países (Alemanha, Bélgica, França, Itália, Holanda e Reino Unido) apresentaram tanto ineficiência de escala como técnica pura, mas não apresentaram ineficiências elevadas, com média de eficiência de técnica de 92% (8% de ineficiência, sendo 4% de ineficiência de escala e 4% de ineficiência técnica pura).

Na Europa, o pior desempenho foi o dos países do leste europeu e da península ibérica, com médias de eficiência de 0,86 e 0,88, respectivamente. Em geral, os países destas áreas apresentam ineficiência tanto técnica quanto de escala com retornos crescentes, ou seja, assim como a maior parte dos países da amostra, eles estão obtendo um produto aquém do que poderiam obter em relação à quantidade e proporção de insumos utilizados. Os países bálticos (Estônia, Letônia e Lituânia) e a península dos Balcãs têm uma média de 94% de eficiência, bem superior à média total da amostra. Nota-se que todos os países bálticos têm ineficiência apenas técnica.

Nos dois países da amostra da Oceania, verifica-se que o desempenho da Nova Zelândia com 96% de eficiência técnica é significativamente superior ao da Austrália (84%). A Nova Zelândia apresenta apenas ineficiência técnica pura sem ineficiência de escala. Apresenta ainda retornos constantes de escala, isto significa que com uma redução dos insumos ela poderá obter o mesmo produto depois de eliminada a ineficiência técnica.

O continente americano obteve uma eficiência média de 88%. A América Central obteve o melhor resultado do continente com uma média de eficiência de 94%, sendo sua ineficiência (1-0,94) composta por 3% de ineficiência técnica pura e 3% de ineficiência de escala. Os países que se destacam neste continente são a Guatemala por apresentar apenas ineficiência de escala, devido a retornos crescentes de escala e Trinidad e Tobago por ter alcançado eficiência plena. Em geral, estes países apresentam os dois tipos de ineficiência com retornos crescentes de escala. Segundo Finamore, Gomes e Dias (2004), uma DMU operando nestas condições precisa eliminar os excessos de insumos utilizados e, por outro lado, para operar em escala ótima, é necessário aumentar a produção, ou seja, a DMU deve aumentar a produção, porém este aumento deve ocorrer reduzindo as relações entre as quantidades utilizadas de insumos e o volume de produção.

Os países sul-americanos da amostra apresentam geralmente tanto ineficiência técnica pura como de escala, apenas o Equador sofre uma ineficiência exclusiva de escala. Todos eles apresentam retornos crescentes. A média de eficiência do continente é de 85%, ou seja,

ineficiência de 15% (1-0,85), sendo que em média, onze pontos percentuais são causados pela ineficiência de escala. O Brasil obteve uma eficiência de 79%, inferior à média da amostra total do continente, tendo apenas o Peru, uma eficiência menor. Assim como a maioria dos países do seu continente, a sua eficiência é técnica pura e de escala com retornos crescentes.

Os três países do continente norte-americano também apresentam ineficiência de escala e técnica pura. O pior resultado foi obtido pelos Estados Unidos com 79% de eficiência. O Canadá tem uma eficiência de 91%. A diferença de eficiência entre estes dois países é considerável.

A Ásia apresenta uma eficiência de 82%. Dividida por áreas geográficas, nota-se que a Ásia central tem uma média de 89% e o oriente médio com 88% de eficiência estão acima da média mundial, ao contrário da Ásia meridional e do leste asiático que obtiveram médias inferiores, 74% e 81%, respectivamente. A grande maioria dos países apresenta os dois tipos de ineficiência. O Paquistão e a república de Kyrgyz têm ineficiência apenas de escala. Todos apresentam retornos crescentes. Em geral, os países desta área apresentam tanto ineficiência técnica pura quanto de escala. Como exceções, destacam-se a Arábia Saudita que apresenta apenas ineficiência de escala e o Kuwait que é plenamente eficiente.

A África é o continente com o pior resultado de eficiência, com uma média de 81%; sete países têm problemas apenas de escala e dois com problemas apenas de eficiência técnica pura. Os outros países têm ineficiência técnica pura quanto de escala.

A maioria dos países, 110 ao todo, teve problemas de escala: oito com retornos decrescentes e 102 com retornos crescentes; 75 deles, além de apresentarem retornos crescentes, têm os dois tipos de ineficiência, ou seja, os insumos estão sendo mal utilizados tanto em quantidade quanto em proporção, correspondendo ao ponto P da figura 1. Quinze deles têm ineficiência apenas de escala e oito apenas ineficiência técnica pura. Oito países apresentam retornos decrescentes de escala, tendo todos eles problemas apenas com ineficiência de escala, correspondendo ao ponto Qv da Figura 1. A nova Zelândia e a Eslovênia foram os únicos países com retornos constantes que apresentaram ineficiência de escala e técnica pura, respectivamente.

**Tabela 1: Eficiências técnica, variável e de escala dos países analisados.**

| PAÍSES                     | dif%K* | dif%AM | CRSTE | VRSTE | SCALE | TE  |
|----------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-----|
| <b>Europa Setentrional</b> |        |        |       |       |       |     |
| Noruega                    | 0      | 25     | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| Suécia                     | 0      | 25     | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| Finlândia                  | 0      | 26     | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| Islândia                   | 0      | 14     | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| Dinamarca                  | 0      | 2      | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| média                      |        |        | 0,97  | 1,00  | 0,97  |     |
| D. Pad.                    |        |        | 0,00  | 0,00  | 0,00  |     |
| <b>Europa Central</b>      |        |        |       |       |       |     |
| Reino Unido                | 6      | 14     | 0,91  | 0,94  | 0,96  | irs |
| Holanda                    | 6      | 28     | 0,91  | 0,94  | 0,96  | irs |
| França                     | 6      | 29     | 0,91  | 0,94  | 0,96  | irs |
| Alemanha                   | 6      | 25     | 0,91  | 0,94  | 0,96  | irs |
| Bélgica                    | 5      | 5      | 0,91  | 0,95  | 0,95  | irs |
| Suíça                      | 0      | 18     | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| Áustria                    | 0      | 14     | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| Irlanda                    | 0      | 0      | 0,97  | 1,00  | 0,97  | drs |
| Itália                     | 8      | 17     | 0,84  | 0,92  | 0,91  | irs |
| média                      |        |        | 0,92  | 0,96  | 0,95  |     |
| D. Pad.                    |        |        | 0,04  | 0,03  | 0,02  |     |
| <b>Leste Europeu</b>       |        |        |       |       |       |     |
| Moldávia                   | 4      | 28     | 0,95  | 0,96  | 0,99  | irs |
| Armênia                    | 8      | 28     | 0,91  | 0,92  | 0,99  | irs |
| Azerbaijão                 | 8      | 8      | 0,91  | 0,92  | 0,99  | irs |
| Rep. Eslovaca              | 8      | 36     | 0,92  | 0,92  | 1,00  | irs |
| Polônia                    | 6      | 16     | 0,88  | 0,94  | 0,94  | irs |
| Hungria                    | 12     | 37     | 0,83  | 0,88  | 0,94  | irs |
| Rep. Tcheca                | 12     | 37     | 0,83  | 0,88  | 0,94  | irs |
| Romênia                    | 7      | 21     | 0,87  | 0,93  | 0,93  | irs |

|                        |   |    |      |      |      |     |
|------------------------|---|----|------|------|------|-----|
| Federação russa        | 9 | 20 | 0,79 | 0,91 | 0,87 | irs |
| Ucrânia                | 0 | 0  | 0,76 | 1,00 | 0,76 | irs |
| média                  |   |    | 0,86 | 0,93 | 0,93 |     |
| D. Pad.                |   |    | 0,06 | 0,04 | 0,07 |     |
| <b>Países Bálticos</b> |   |    |      |      |      |     |
| Lituana                | 4 | 30 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | irs |
| Estónia                | 8 | 33 | 0,92 | 0,92 | 1,00 | irs |
| Letônia                | 4 | 37 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | irs |
| média                  |   |    | 0,94 | 0,94 | 1,00 |     |
| D. Pad.                |   |    | 0,03 | 0,02 | 0,00 |     |
| <b>Países Ibéricos</b> |   |    |      |      |      |     |
| Portugal               | 6 | 31 | 0,90 | 0,94 | 0,95 | irs |
| Espanha                | 7 | 27 | 0,87 | 0,93 | 0,93 | irs |
| média                  |   |    | 0,88 | 0,94 | 0,94 |     |
| D. Pad.                |   |    | 0,02 | 0,01 | 0,01 |     |

**Nota:** **CRSTE** = Eficiência técnica pura com retorno constante de escala; **VRSTE** = Eficiência técnica pura com retorno variável de escala; **SCALE** = Eficiência de escala pura; **dif%K** = Diferença percentual do Capital físico per capita atual e o projetado; **dif%AM** = Diferença percentual do Capital natural atual e o projetado; **T.E.** = Tipo de Retorno de escala: **IRS** – Retorno crescente de escala, **DRS** – Retorno decrescente de escala, **CTE** – Retorno constante de escala

#### Continuação:

| PAÍSES                       | dif%K    | dif%AM    | CRSTE       | VRSTE       | SCALE       | TE         |
|------------------------------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|
| <b>Península dos Balcãs</b>  |          |           |             |             |             |            |
| Bulgária                     | 4        | 19        | 0,95        | 0,96        | 0,99        | irs        |
| Albânia                      | 4        | 31        | 0,95        | 0,96        | 0,99        | irs        |
| Croácia                      | 8        | 37        | 0,92        | 0,92        | 1,00        | irs        |
| Eslovênia                    | 4        | 32        | 0,96        | 0,96        | 1,00        | cte        |
| Macedônia                    | 5        | 15        | 0,94        | 0,96        | 0,98        | irs        |
| Grécia                       | 6        | 23        | 0,90        | 0,94        | 0,95        | irs        |
| média                        |          |           | 0,94        | 0,95        | 0,99        |            |
| D. Pad.                      |          |           | 0,02        | 0,01        | 0,02        |            |
| <b>Europa</b>                |          |           |             |             |             |            |
| média                        |          |           | 0,91        | 0,95        | 0,96        |            |
| D. Pad.                      |          |           | 0,05        | 0,04        | 0,04        |            |
| <b>Países Sul-Americanos</b> |          |           |             |             |             |            |
| Uruguai                      | 0        | 39        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | irs        |
| Bolívia                      | 0        | 32        | 0,99        | 1,00        | 0,99        | irs        |
| Paraguai                     | 4        | 31        | 0,95        | 0,96        | 0,99        | irs        |
| Venezuela                    | 6        | 25        | 0,91        | 0,94        | 0,96        | irs        |
| Chile                        | 6        | 28        | 0,88        | 0,94        | 0,94        | irs        |
| Colômbia                     | 7        | 33        | 0,87        | 0,93        | 0,93        | irs        |
| Argentina                    | 0        | 37        | 0,87        | 1,00        | 0,87        | irs        |
| <b>Brasil</b>                | <b>9</b> | <b>35</b> | <b>0,79</b> | <b>0,91</b> | <b>0,87</b> | <b>irs</b> |
| Peru                         | 8        | 23        | 0,68        | 0,92        | 0,74        | irs        |
| Equador                      | 0        | 0         | 0,54        | 1,00        | 0,54        | irs        |
| média                        |          |           | 0,85        | 0,96        | 0,88        |            |
| D. Pad.                      |          |           | 0,14        | 0,04        | 0,14        |            |
| <b>América do Norte</b>      |          |           |             |             |             |            |
| Canadá                       | 6        | 44        | 0,91        | 0,94        | 0,96        | irs        |
| México                       | 8        | 15        | 0,82        | 0,92        | 0,89        | irs        |
| Estados Unidos               | 9        | 26        | 0,79        | 0,91        | 0,87        | irs        |

|                           |   |    |      |      |      |     |
|---------------------------|---|----|------|------|------|-----|
| média                     |   |    | 0,84 | 0,92 | 0,91 |     |
| D. Pad.                   |   |    | 0,06 | 0,02 | 0,05 |     |
| <b>América Central</b>    |   |    |      |      |      |     |
| Trinidad and Tobago       | 0 | 0  | 1,00 | 1,00 | 1,00 | cte |
| República Dominicana      | 4 | 17 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | irs |
| Jamaica                   | 4 | 4  | 0,96 | 0,96 | 0,99 | irs |
| Nicarágua                 | 8 | 23 | 0,91 | 0,92 | 0,99 | irs |
| El Salvador               | 5 | 19 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | irs |
| Panamá                    | 5 | 34 | 0,93 | 0,95 | 0,98 | irs |
| Haiti                     | 3 | 3  | 0,95 | 0,97 | 0,98 | irs |
| Guatemala                 | 0 | 22 | 0,87 | 1,00 | 0,87 | irs |
| média                     |   |    | 0,94 | 0,97 | 0,97 |     |
| D. Pad.                   |   |    | 0,04 | 0,03 | 0,04 |     |
| <b>Total das Américas</b> |   |    |      |      |      |     |
| média                     |   |    | 0,88 | 0,96 | 0,92 |     |
| D. Pad.                   |   |    | 0,11 | 0,03 | 0,11 |     |

### Continuação

| PAÍSES                           | dif%K | dif%AM | CRSTE | VRSTE | SCALE | TE  |
|----------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| <b>Oriente Médio</b>             |       |        |       |       |       |     |
| Kuwait                           | 0     | 0      | 1,00  | 1,00  | 1,00  | cte |
| Lebanon                          | 4     | 9      | 0,96  | 0,96  | 1,00  | irs |
| Israel                           | 4     | 20     | 0,95  | 0,96  | 0,99  | irs |
| Jordan                           | 5     | 24     | 0,94  | 0,96  | 0,98  | irs |
| Iran, Islamic Rep.               | 13    | 13     | 0,82  | 0,88  | 0,93  | irs |
| Turkey                           | 13    | 23     | 0,82  | 0,88  | 0,93  | irs |
| Syrian Arab Republic             | 10    | 11     | 0,76  | 0,90  | 0,85  | irs |
| Saudi Arabia                     | 1     | 1      | 0,82  | 1,00  | 0,82  | irs |
| média                            |       |        | 0,88  | 0,94  | 0,94  |     |
| D. Pad.                          |       |        | 0,09  | 0,05  | 0,07  |     |
| <b>Leste Asiático e Pacífico</b> |       |        |       |       |       |     |
| Mongólia                         | 4     | 26     | 0,95  | 0,96  | 0,99  | irs |
| Japão                            | 6     | 20     | 0,88  | 0,94  | 0,94  | irs |
| China                            | 6     | 6      | 0,87  | 0,94  | 0,92  | irs |
| Tailândia                        | 9     | 25     | 0,79  | 0,91  | 0,87  | irs |
| Malásia                          | 9     | 22     | 0,79  | 0,91  | 0,87  | irs |
| Indonésia                        | 10    | 13     | 0,76  | 0,90  | 0,85  | irs |
| Filipinas                        | 9     | 9      | 0,76  | 0,91  | 0,84  | irs |
| Vietnam                          | 17    | 17     | 0,65  | 0,83  | 0,78  | irs |
| média                            |       |        | 0,81  | 0,91  | 0,88  |     |
| D. Pad.                          |       |        | 0,09  | 0,04  | 0,07  |     |
| <b>Ásia Meridional</b>           |       |        |       |       |       |     |
| Butão                            | 8     | 29     | 0,91  | 0,92  | 0,99  | irs |
| Sri Lanka                        | 7     | 23     | 0,85  | 0,93  | 0,92  | irs |
| Bangladesh                       | 11    | 17     | 0,73  | 0,89  | 0,82  | irs |
| Índia                            | 8     | 8      | 0,73  | 0,92  | 0,79  | irs |
| Nepal                            | 13    | 13     | 0,60  | 0,88  | 0,69  | irs |

|                     |   |    |      |      |      |     |
|---------------------|---|----|------|------|------|-----|
| Paquistão           | 0 | 0  | 0,62 | 1,00 | 0,62 | irs |
| média               |   |    | 0,74 | 0,92 | 0,80 |     |
| D. Pad.             |   |    | 0,12 | 0,04 | 0,14 |     |
| <b>Ásia Central</b> |   |    |      |      |      |     |
| República do Kyrgyz | 0 | 22 | 0,99 | 1,00 | 0,99 | irs |
| Uzbequistão         | 7 | 7  | 0,85 | 0,93 | 0,92 | irs |
| Cazaquistão         | 8 | 17 | 0,84 | 0,92 | 0,91 | irs |
| média               |   |    | 0,85 | 0,92 | 0,80 |     |
| D. Pad.             |   |    | 0,08 | 0,04 | 0,04 |     |
| <b>Ásia</b>         |   |    |      |      |      |     |
| média               |   |    | 0,82 | 0,92 | 0,88 |     |
| D. Pad.             |   |    | 0,10 | 0,04 | 0,09 |     |

### Continuação

| PAÍSES                     | dif%K | dif%AM | CRSTE | VRSTE | SCALE | TE  |
|----------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| <b>África</b>              |       |        |       |       |       |     |
| Togo                       | 0     | 9      | 0,99  | 1,00  | 0,99  | irs |
| Tunísia                    | 8     | 22     | 0,91  | 0,92  | 0,99  | irs |
| Comoros                    | 0     | 37     | 0,99  | 1,00  | 0,99  | irs |
| Líbia                      | 3     | 3      | 0,96  | 0,97  | 0,99  | irs |
| Ruanda                     | 4     | 4      | 0,94  | 0,96  | 0,98  | irs |
| Uganda                     | 5     | 19     | 0,94  | 0,96  | 0,98  | irs |
| Gabon                      | 4     | 27     | 0,96  | 0,96  | 1,00  | irs |
| Benin                      | 4     | 13     | 0,95  | 0,96  | 0,99  | irs |
| Botsuana                   | 4     | 36     | 0,96  | 0,96  | 1,00  | irs |
| República Central Africana | 5     | 26     | 0,94  | 0,96  | 0,98  | irs |
| Burundi                    | 5     | 5      | 0,93  | 0,95  | 0,98  | irs |
| Senegal                    | 7     | 18     | 0,85  | 0,93  | 0,92  | irs |
| Tanzânia                   | 9     | 19     | 0,79  | 0,91  | 0,87  | irs |
| Egito                      | 10    | 20     | 0,76  | 0,90  | 0,85  | irs |
| Zimbábue                   | 0     | 26     | 0,85  | 1,00  | 0,85  | irs |
| África do Sul              | 9     | 20     | 0,79  | 0,91  | 0,87  | irs |
| Marrocos                   | 10    | 20     | 0,76  | 0,90  | 0,85  | irs |
| Nigéria                    | 0     | 0      | 0,73  | 1,00  | 0,73  | irs |
| Burquina Faso              | 0     | 13     | 0,82  | 1,00  | 0,82  | irs |
| Quênia                     | 11    | 15     | 0,73  | 0,89  | 0,82  | irs |
| Gana                       | 11    | 22     | 0,73  | 0,89  | 0,82  | irs |
| Zâmbia                     | 11    | 22     | 0,73  | 0,89  | 0,82  | irs |
| Mali                       | 11    | 17     | 0,73  | 0,89  | 0,82  | irs |
| Sudão                      | 11    | 13     | 0,73  | 0,89  | 0,82  | irs |
| Madagascar                 | 0     | 0      | 0,82  | 1,00  | 0,82  | irs |
| Etiópia                    | 5     | 5      | 0,68  | 0,96  | 0,71  | irs |
| Malawi                     | 17    | 17     | 0,60  | 0,83  | 0,73  | irs |
| Argélia                    | 17    | 17     | 0,60  | 0,83  | 0,73  | irs |

|                        |   |    |      |      |      |     |
|------------------------|---|----|------|------|------|-----|
| Moçambique             | 8 | 14 | 0,68 | 0,92 | 0,74 | irs |
| Niger                  | 0 | 0  | 0,68 | 1,00 | 0,68 | irs |
| Cameron                | 2 | 2  | 0,62 | 0,98 | 0,63 | irs |
| média                  |   |    | 0,81 | 0,94 | 0,86 |     |
| D. Pad.                |   |    | 0,12 | 0,05 | 0,11 |     |
| <b>Oceania</b>         |   |    |      |      |      |     |
| Nova Zelândia          | 4 | 33 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | cte |
| Austrália              | 8 | 35 | 0,84 | 0,92 | 0,91 | irs |
| média                  |   |    | 0,90 | 0,94 | 0,95 |     |
| D. Pad.                |   |    | 0,09 | 0,03 | 0,06 |     |
| <b>Todos os países</b> |   |    |      |      |      |     |
| média                  |   |    | 0,86 | 0,94 | 0,91 |     |
| D. Pad.                |   |    | 0,11 | 0,04 | 0,10 |     |

Fonte: Dados da Pesquisa

## 5. CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho foi ressaltada a importância do capital natural como uma variável importante para a determinação da eficiência do desenvolvimento de países e regiões, podendo-se explicar as diferenças de desempenho produtivo entre 114 países estudados.

Os resultados indicam que os países Kuwait e Trinidad e Tobago possuem maior eficiência na transformação de capital físico e capital natural (insumos) em crescimento/desenvolvimento (PIB per capita).

Destaca-se o desempenho dos países da Europa setentrional (Dinamarca, Finlândia, Islândia, Noruega e Suécia), com média de eficiência de 97%. Os 3% de ineficiência, como mostrados na Tabela 1, são causados exclusivamente pela ineficiência de escala devido aos seus retornos decrescentes. Estes resultados vão de encontro ao trabalho de Arraes, Barreto e Telles(2004) que encontraram fortes evidências de que o grau de desenvolvimento institucional afeta negativamente ou positivamente a produtividade dos fatores econômicos, implicando diminuição ou aumento per capita de um país.

Neste sentido, as economias desenvolvidas, como da Dinamarca, Finlândia, Suécia, Islândia e Noruega, apresentaram resultados idênticos, caracterizando suas semelhanças econômicas e produtivas. Estes países apresentam não apenas melhores instituições, mas também grande quantidade de capital natural (ESI; 2002). E de acordo com os resultados deste artigo, são também os países que apresentaram em média regional o melhor desempenho, com ineficiência técnica nula.

Nota-se que o continente Europeu e a Oceania, em média, são os melhores em termos de eficiência técnica, enquanto África e Ásia são os piores. Regionalmente, o oriente médio e a Ásia central possuem uma média maior que a mundial e que a média do continente asiático. A comparação das diferenças de eficiências nas economias do mundo mostra a existência de custos de oportunidades que existem na alocação dos recursos escassos (capital físico e capital natural) das sociedades de cada país, indicando que se podem priorizar os investimentos em setores que melhor utilizam os insumos disponíveis para a transformação em produtos úteis.

É importante salientar que a DEA constrói um único padrão de referência ótimo para cada país, em virtude de sua configuração particular de insumos e produtos. Não se pode comparar um país do norte da Europa com um país como o Kuwait que teve eficiência plena; ou com um país do oriente médio como Trinidad e Tobago. Neste contexto, a grande

vantagem da utilização da Análise Envoltória de Dados consiste em permitir medir a eficiência relativa de cada país (*DMU*), considerando-se os meios de que dispõe (*inputs*) e os resultados alcançados (*outputs*) e não apenas um simples ranking entre eles. Em síntese, a análise de eficiência econômica, através do modelo DEA, mostra-se uma ferramenta útil para verificar se todos os países estão obtendo resultados (*outputs*) compatíveis com suas potencialidades (*inputs*).

## 6. BIBLIOGRAFIA

- AMAZONAS, M. C.. **Economia Ambiental Neoclássica e Desenvolvimento Sustentável**. Anais do XXVI Encontro Nacional de Economia - ANPEC, Vitória-ES, p. 1585-1606, 1998.
- \_\_\_\_\_, **Economia do Meio Ambiente: uma análise da abordagem Neoclássica a partir de marcos Evolucionistas e Institucionalistas**, dissertação de mestrado, Instituto de Economia - UNICAMP, Campinas, 1994.
- ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B. . Desenvolvimento sustentável e a curva ambiental de Kuznets: novas evidências empíricas Cross-Country. **XLII CONGRESSO DA SOBER-Dinâmicas Setoriais e Desenvolvimento Regional** . 25 a 28 de Julho de 2004 – Cuiabá – MT, 2004.
- BANKER, R.D., CHARNES, H., COOPER, W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- CHARNES, A., COOPER, W.W. & RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making units**. European Journal of Operational Research, n. 2, 1978. p. 429-444
- CHARNES, A., COOPER, W.W., LEWIN, A.Y., SEIFORD, L.M. **Data envelopment analysis: theory, methodology and application**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994.
- COELLI, T.J., RAO, P., BATTESE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- COOPER, W.W., SEIFORD, L.M., TONE, K. **Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software**. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2000. 318 p.
- DYCKHOFF, H.; ALLEN, K. 2001. Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA). **European Journal of Operational Research** Vol: 132, Issue: 2, July 16, pp. 312-325.
- ESI, 2002. **Environmental Sustainability Index – An Initiative of the Global Leaders of Tomorrow Environmental Task Force**. ( In collaboration with: Yale Center for Environmental Law and Policy Yale University and Center for International Earth Science Information Network Columbia University) World Economic Forum - Annual Meeting, 2002.
- FÄRE, R., GROSSKOPF, S., LOVELL, C.A.K. **Production Frontiers**. Cambridge: Cambridge University, 1994. 295 p.
- FARRELL, M.J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, p. 252-290, 1957.
- FINAMORE, E. B. M. C.; GOMES, A. P.; DIAS, R. S. **Desempenho Setorial da Economia Gaúcha: Uma aplicação da análise envoltória de dados (DEA) utilizando dados de uma matriz de Insumo-Produto**. Universidade de Passo Fundo, Texto para discussão n° 04/2004, Passo Fundo-RS. 2004, p. 16
- GROSSMAN, G; KRUEGER. A. Economic Growth and the Environment. **Quarterly Journal of Economics**, v.110, n.2, p.353-377, 1995.
- HULTEN, C. R. **Total factor productivity: a short biography**. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2000. 75 p. (Working Paper, 7471.
- KUZNETS, Simon. Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review**, v.45, p.1-28. 1995.

LIMA, Gilberto, T. **Naturalizando o Capital, Capitalizando a Natureza: o conceito de capital natural no desenvolvimento sustentável.** Texto para Discussão. IE/UNICAMP, Campinas. N. 74, jun. 1999. p. 21.

LINS, M.P.E., MEZA, L.A. **Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à tomada de decisão.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.

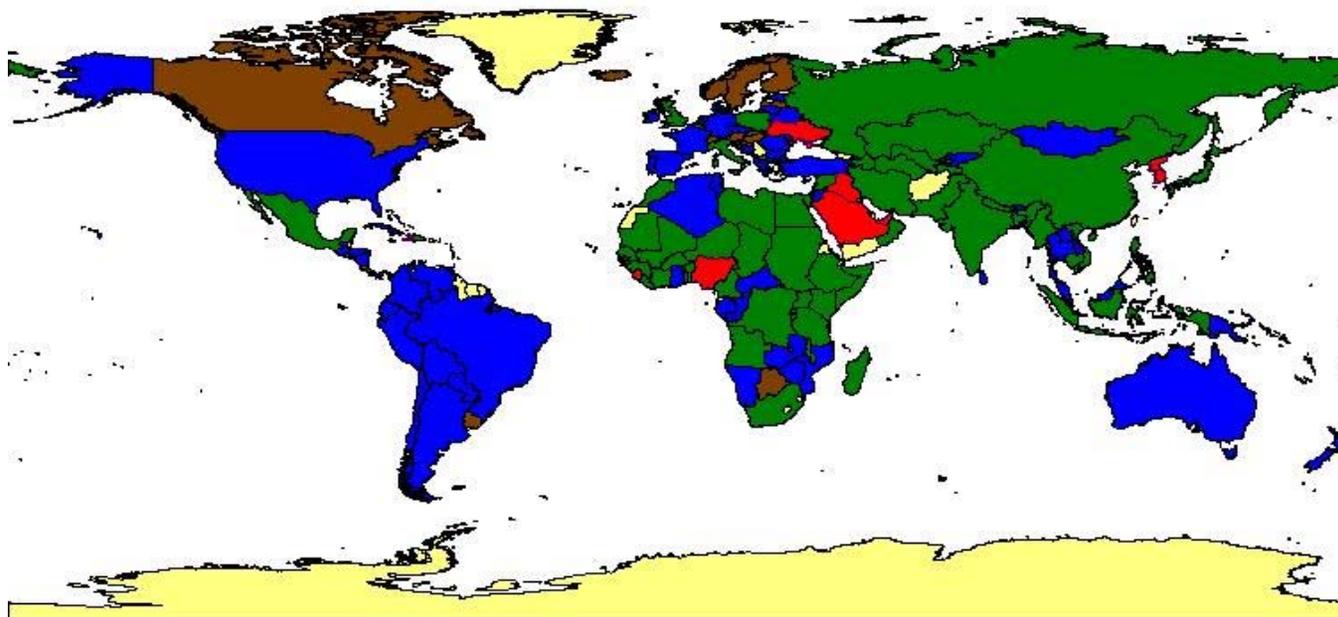
PEARCE, D.; GILES A.. 1995. Measuring sustainable development. In **The Handbook of Environmental Economics**, ed. Daniel W. Bromley, 166-81. Cambridge: Blackwell.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. **Quarterly Journal of Economics**, 70, 1 (Feb), p. 65-94, 1956.

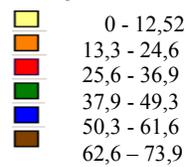
WDI. **World Development Indicators: SOCIO-ECONOMIC INDICATORS 1960-2004.** World Bank. 2005. On-line em: [www.worldbank.org/data/onlinedatabases/onlinedatabases.html](http://www.worldbank.org/data/onlinedatabases/onlinedatabases.html).

ARRAES, R. A.; BARRETO, R. C. S.; TELLES V. K.. Efeitos do Capital Social e do Capital Político no Desenvolvimento Econômico: Simulações para Países e Estados Brasileiros. **Análise Econômica** - UFRGS, Edição nº 41, ano: 22, 2004.p. 21

ANEXO: Distribuição do Índice de Sustentabilidade Ambiental ESI no mundo



Nota: Quanto maior o valor do ESI maior a concentração de capital para efeitos do presente estudo.



Fonte: ESI (2002).