

## **Utilização de Modelo Network DEA na Avaliação de Cursos de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia**

**Silvio Figueiredo Gomes Júnior**

Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste  
Av. Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203, Campo Grande, 23070-200, Rio de Janeiro, RJ  
silviogomes@uezo.rj.gov.br

**Plácido Moreno Beltrán**

Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas I – Universidad de Sevilla  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Camino de los Descubrimientos s/n. 41092. Spain.  
placidomb@us.es

**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

**Lidia Angulo Meza**

Dep. de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Av. dos Trabalhadores, 420, 27255-125, Volta Redonda, RJ  
lidia@metal.eeimvr.uff.br

### *Resumo*

Os cursos de pós-graduação *stricto sensu* no Brasil são avaliados a cada três anos. Os métodos utilizados nesta avaliação buscam medir a produtividade acadêmica (incluindo a quantidade e qualidade da produção científica), o número de estudantes que concluem o curso, entre outros fatores. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade dos programas de pós-graduação da área de Engenharia III da CAPES na produção e publicação de artigos científicos de mestrados e teses de doutorado. Foi utilizado um modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) em dois estágios, denominado NDEA, onde o número de dissertações e teses são os produtos intermediários. Desta forma, é possível calcular a eficiência tanto nos aspectos acadêmicos quanto nos aspectos de pesquisa dos cursos de pós-graduação.

**Palavras-chave:** CAPES, Network DEA, Avaliação Educacional.

### *Abstract*

Brazilian post-graduate courses are evaluated every three years. The methods used in this evaluation try to measure academic productivity (including quantity and quality of scientific production), number of students concluding the course, among other factors. Therefore, the aim of this work is to evaluate the ability of post-graduate Engineering III programmes of CAPES areas to produce scientific papers from masters' degrees and doctoral theses in a proper way. We have implemented a two-stage Network Data Envelopment Analysis (NDEA) model using the number of thesis as an intermediate variable. The model allows us to compute the efficiencies from both the academic and research aspects of the post-graduate courses.

**Keywords:** CAPES, Network DEA, Educational evaluation.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde 1976, os cursos de pós-graduação *stricto sensu* no Brasil vem sendo avaliados pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Esta avaliação compreende, entre outros aspectos, a realização do acompanhamento anual e da avaliação trienal do desempenho de todos os programas e cursos que integram o Sistema Nacional de Pós-graduação (SNPG). Os resultados desse processo são expressos em notas na escala de "1" a "7" e fundamentam a obtenção da renovação de "reconhecimento" do curso, a vigorar no triênio subsequente.

É importante ressaltar que as avaliações de produtividade na educação são normalmente subjetivas, devido ao grande número de variáveis a serem levadas em consideração. Assim, é necessário atribuir pesos para quantificar essas variáveis e agregá-las em um único índice. Esta subjetividade no processo de avaliação pode causar mal-estar e produzir resultados que podem ser rejeitados pelos leitores.

De acordo com Boclin (1999), a avaliação educacional deveria ser quantitativa e comparável. Neste sentido, a metodologia Análise Envoltória de Dados (DEA) (Cooper *et al.*, 2000) se mostra bastante adequada pois possui essas duas características simultaneamente. Os pesos atribuídos pelos modelos DEA tradicionais são calculados por meio de um problema de programação linear, de tal forma que cada decisão beneficia a melhor combinação possível destes pesos, com propósito de maximizar a sua eficiência (Thanassoulis *et al.*, (2004). Por outro, estes pesos podem não ser considerados "justos" por todos os programas. No entanto, ao fornecer uma certa "liberdade" para determinar estes pesos, dá-se a oportunidade para que cada programa destaque o que tem de melhor. Neste sentido, os programas que são ineficientes nestas condições realmente não tem bom desempenho em qualquer dos quesitos avaliados pelo CAPES.

Propõe-se neste trabalho a utilização de um modelo DEA em dois estágios chamado Network DEA com o objetivo de avaliar a capacidade dos docentes dos programas de pós-graduação da área de Engenharia III da CAPES em orientar alunos nos programas de mestrado e doutorado e fazer com que os mesmos publiquem seus trabalhos. Nesse modelo, as opiniões subjetivas, consensuais na maioria dos docentes, são expressas por meio de restrições aos pesos.

Ao contrário dos modelos DEA tradicionais, o modelo Network DEA (NDEA) define cada DMU como uma rede de sub-processos. Ou seja, considera a estrutura interna do sistema e permite o cálculo das ineficiências correspondentes aos diferentes estágios, assim como considera também suas respectivas eficiências, ou seja, decompõe a eficiência global em estágios específicos. De acordo com o modelo NDEA, cada sub-processo pode ter diferentes *inputs* (variáveis de entrada) e *outputs* (variáveis de saída) exógenos. No entanto, os estágios internos de uma DMU estão conectados através de variáveis intermediárias que são endógenas. Assim, no modelo NDEA deste trabalho, é usado o número de dissertações e teses são os produtos intermediários, uma vez que o produto final deve ser a publicação de artigos científicos. Desta forma, o modelo permite calcular a eficiência tanto nos aspectos de produtividade quanto qualidade de pesquisa dos cursos de pós-graduação. Neste artigo, os dois modelos de produtividade e qualidade de Soares de Mello *et al.* (2006) são agregados em um único modelo DEA. Foram utilizados os dados do último triênio de avaliação (2010-2012), divulgados pela Capes.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 descreve uma revisão da literatura tanto nos aspectos de DEA em educação quanto em relação aos modelos Network DEA. A seção 3

descreve o modelo Network DEA e apresenta sua formulação. A seção 4 descreve a modelagem utilizada no trabalho. A seção 5 apresenta os resultados e discussões e a seção 6 traz as conclusões do trabalho.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. Revisão de DEA em Educação**

Charnes *et al.* (1978) publicaram o primeiro artigo sobre DEA, que foi em avaliação educacional. Inicialmente, DEA foi desenvolvido para avaliar organizações sem considerar aspectos financeiros, focando, por exemplo, os aspectos educacionais.

Desde esta publicação, diversos artigos e técnicas em DEA vem sendo desenvolvidas em avaliações educacionais. Soares de Mello *et al.* (2006) avaliaram os programas de pós-graduação da COPPE (Instituto de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia) da Universidade Federal do Rio de Janeiro e fizeram uma revisão da literatura de DEA em educação até 2005. Angulo Meza *et al.* (2011) utilizaram DEA e redes neurais de *Kohonen* para avaliar as melhores localizações para instalação de polos do CEDERJ (Centro de Educação Superior à Distância do Estado do Rio de Janeiro) e Angulo Meza *et al.* (2012) utilizaram DEA e modelo multiobjetivo na avaliação da eficiência dos polos de educação superior à distância do CEDERJ.

Thieme *et al.* (2012) analisaram a performance de 54 países que participaram do programa PISA 2006 (*Programme for International Student Assessment*) e Gomes Júnior *et al.* (2013) mostraram a utilização de índices não radiais em DEA e mostram sua aplicação na identificação de alvos não radiais para os polos do CEDERJ e o cálculo da eficiência não radial em relação a estes polos. Vários outros trabalhos utilizam esta metodologia para cálculo de eficiência ou *benchmarks* para professores, cursos e instituições de ensino. Por exemplo, pode-se citar Tyagi *et al.* (2009), França *et al.* (2010), Bougnol e Dulá (2006), entre outros.

### **2.2. Revisão Network DEA**

O modelo NDEA inicial foi desenvolvido por Färe e Grosskopf (2000), que propuseram a abertura da chamada "caixa preta". No entanto, os primeiros trabalhos utilizando NDEA buscavam a solução de um modelo DEA para cada etapa de forma independente, desconsiderando a continuidade das relações entre os nós. Entre estes trabalhos, pode-se citar Seiford e Zhu (1999), Zhu (2000), Sexton e Lewis (2003), Chilingirian e Sherman (2004), Narasimhan *et al.* (2004) e Soares de Mello *et al.* (2006).

Chen e Zhu (2004) propuseram um modelo DEA com retornos constantes de escala que deixasse de considerar as eficiências de cada estágio de forma independente. Mais recentemente, Kao (2009) levou em conta a relação entre as etapas com a abordagem NDEA relacional, enquanto Chen *et al.* (2009) propuseram um modelo de NDEA considerando a continuidade dos produtos intermediários. Em seguida, Tone e Tsutsui (2009) adaptaram o modelo SBM (*Slack-Based Measure*) ao modelo NDEA, permitindo a identificação de ineficiências não radiais. Uma aplicação deste modelo pode ser encontrada em Moreno e Lozano (2014).

É importante destacar que, até o momento, não foram encontradas aplicações dos modelos relacionais de Network DEA em educação como é feita neste trabalho.

## **3. MODELO NETWORK RELACIONAL MULTIPLICATIVO DEA**

Os modelos DEA tradicionais (por exemplo, CCR desenvolvido por Charnes *et al.* (1978) e BCC desenvolvido por Banker *et al.* (1984)) tem-se mostrado adequados para a análise de eficiência das unidades de produção que utilizam múltiplos *inputs* (insumos) e múltiplos *outputs* (produtos). Estas unidades de produção são, geralmente, chamadas de unidades tomadoras de decisão, ou

simplesmente DMU (*decision making units*). A eficiência é calculada para cada DMU, comparando os níveis de *inputs* e *outputs* de cada DMU com todas as outras.

Como destacado anteriormente, uma das limitações dos modelos DEA tradicionais é negligenciar os estágios internos de uma DMU e as atividades de ligação (produtos intermediários) entre eles. Na verdade, a existência de conexão entre as atividades é uma característica indispensável dos modelos Network DEA (NDEA). Embora os modelos NDEA possam ser encontrados em diversas configurações, o modelo serial de multi-estágio é o mais comum. O diagrama de produção de um processo com três estágios hipotéticos é ilustrado na Figura 1.

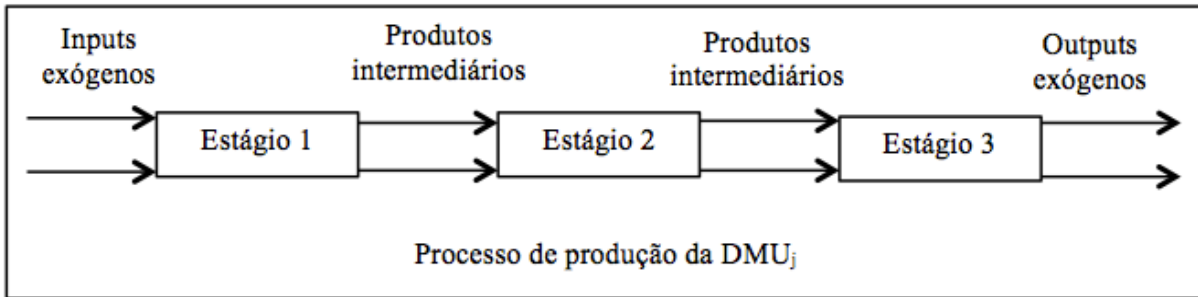


Figura 1 – Representação de um sistema serial com três estágios.

Devido à sua estrutura, para que uma DMU possa ser eficiente nos modelos NDEA, esta deve ser eficiente em cada sub-processo (ou estágio). Assim, pode ocorrer de não existir uma DMU que seja totalmente eficiente (isto é, eficiência igual a 100%) quando se considera todo o processo. Nesta modelagem, os produtos intermediários são produzidos e consumidos na DMU, ao passo que os *inputs* e *outputs* são exógenos à estrutura interna. Além do cálculo global da eficiência, os modelos NDEA fornecem os índices de eficiência de cada estágio, uma vez que o conjunto de possibilidades de produção é modelado no nível de cada estágio, ou seja, cada sub-processo tem sua própria tecnologia, definindo assim o seu próprio conjunto de pesos e unidades de referência.

Kao and Hwang (2008) apresentaram o modelo relacional multiplicativo. Este modelo é baseado no modelo DEA com retorno constante de escala, onde  $E_0$  é a eficiência do problema de programação fracionária descrito em (1).

$$\begin{aligned}
 E_0 = \max & \frac{\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{r0}}{\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{i0}} \\
 \text{s.t.} & \frac{\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj}}{\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n. \\
 & u_r, v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s.
 \end{aligned} \tag{1}$$

As eficiências  $E_0^1$  e  $E_0^2$  referentes aos estágios 1 e 2, respectivamente, são calculadas pelos modelos (2) e (3), baseados no modelo DEA CRS apresentado em (1):

$$\begin{aligned}
E_0^1 &= \max \frac{\prod_{d=1}^D w_d \cdot z_{d0}}{\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{i0}} \\
s.t. \quad &\frac{\prod_{d=1}^D w_d \cdot z_{dj}}{\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n. \\
&w_d, v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; d = 1, 2, \dots, D.
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
E_0^2 &= \max \frac{\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{r0}}{\prod_{d=1}^D w_d \cdot z_{d0}} \\
s.t. \quad &\frac{\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj}}{\prod_{d=1}^D w_d \cdot z_{dj}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n. \\
&u_r, w_d \geq 0, d = 1, 2, \dots, D; r = 1, 2, \dots, s.
\end{aligned} \tag{3}$$

De acordo com Kao and Hwang (2008), a eficiência global  $E_0$  e as eficiências individuais  $E_0^1$  e  $E_0^2$  referentes aos estágios 1 e 2 da DMU em análise é dada pelas equações (4), (5) e (6) respectivamente.

$$E_0 = \frac{\prod_{r=1}^s u_r^* \cdot y_{r0}}{\prod_{i=1}^m v_i^* \cdot x_{i0}} \leq 1 \tag{4}$$

$$E_0^1 = \frac{\prod_{d=1}^D w_d^* \cdot z_{d0}}{\prod_{i=1}^m v_i^* \cdot x_{i0}} \leq 1 \tag{5}$$

$$E_0^2 = \frac{\prod_{r=1}^s u_r^* \cdot y_{r0}}{\prod_{d=1}^D w_d^* \cdot z_{d0}} \tag{6}$$

Onde  $u_r^*$ ,  $v_i^*$  e  $w_d^*$  são os pesos ótimos calculados pelos modelos (2) e (3). Assim, a eficiência global (7) é o produto das eficiências individuais de cada estágio.

$$E_0 = E_0^1 x E_0^2 \quad (7)$$

De forma a incorporar a interação entre os 2 estágios, Kao and Hwang (2008) incluíram as restrições (4), (5) e (6) no modelo (1), descrito em (8).

$$\begin{aligned}
 E_0 &= \max \frac{\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{r0}}{\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{i0}} \\
 s.t. \quad &\frac{\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj}}{\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n. \\
 &\frac{\prod_{d=1}^D w_d \cdot z_{dj}}{\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n. \\
 &\frac{\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj}}{\prod_{d=1}^D w_d \cdot z_{dj}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n. \\
 &u_r, v_i, w_d \in \mathbb{R}^+, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad r = 1, 2, \dots, s; \quad d = 1, 2, \dots, D.
 \end{aligned} \quad (8)$$

Além disso, os autores consideraram os mesmos pesos para os produtos intermediários, independentemente se estes produtos intermediários são *outputs* do estágio 1 ou *inputs* do estágio 2. Esta suposição faz a ligação entre os 2 estágios e permite que o modelo fracionário (8) seja convertido no modelo de programação linear (9).

$$\begin{aligned}
 E_0 &= \max \prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{r0} \\
 s.t. \quad &\prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{i0} = 1 \\
 &\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} \leq \prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \\
 &\prod_{d=1}^q w_d \cdot z_{dj} \leq \prod_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \\
 &\prod_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} \leq \prod_{d=1}^q w_d \cdot z_{dj} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \\
 &u_r, v_i, w_d \in \mathbb{R}^+, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad r = 1, 2, \dots, s; \quad d = 1, 2, \dots, D.
 \end{aligned} \quad (9)$$

Os pesos ótimos do modelo (9) podem não ser únicos, assim como a decomposição da eficiência global  $E_0$  nas eficiências de cada estágio  $E_0^1$  e  $E_0^2$  podem também não serem únicas. Kao and Hwang (2008) propuseram a maximização de uma das eficiências individuais, por exemplo  $E_0^1$ , enquanto mantém a eficiência global  $E_0$  calculada pelo modelo (9). Assim, a outra eficiência individual  $E_0^2$  é calculada pela expressão (10).

$$E_0 = E_0^1 \times E_0^2 \quad \square \quad E_0^2 = \frac{E_0}{E_0^1} \quad (10)$$

#### 4. MODELAGEM

Na avaliação da qualidade dos cursos de pós-graduação, pretende-se avaliar a capacidade de cada programa em publicar o desenvolvimento de suas pesquisas, tanto ao nível de mestrado quanto ao nível de doutorado. Se um programa possui um baixo índice de publicação de suas pesquisas, o mesmo é considerado de baixa qualidade. Por outro lado, se um programa possui um elevado número de trabalhos publicados (ou outra produção acadêmica), principalmente em jornais internacionais bem reconhecidos, é uma indicação da alta qualidade do programa.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade dos docentes dos programas de pós-graduação da área de Engenharia III da CAPES em orientar alunos nos programas de mestrado e doutorado e fazer com que os mesmos publiquem seus trabalhos. Para esta avaliação, foi utilizado um modelo NDEA multiplicativo relacional de dois estágios descrito na seção 3 onde as DMUs do modelo são os programas de pós-graduação que tiveram defesas de mestrado ou de doutorado defendidas no triênio 2010-2012. A variável de *input* inicial é o número de docentes dos programas de pós-graduação. O número de dissertações de mestrado e teses de doutorado são os produtos intermediários e os *outputs* finais do processo são as publicações de artigos científicos em periódicos científicos avaliados pela CAPES, num total de 7 (sete) *outputs* referentes às qualificações QUALIS dos periódicos (A1, A2, B1, B2, B3, B4 e B5). Desta forma, o modelo nos permite calcular a eficiência tanto nos aspectos acadêmicos quanto nos aspectos de pesquisa dos programas de pós-graduação, pois fornece a eficiência destes programas em cada uma das etapas (na produção das dissertações de mestrado e teses de doutorado no primeiro estágio e na produção dos artigos científicos no segundo estágio), assim como a eficiência global destes programas. A Figura 2 apresenta o esquema do processo de produção de uma DMU.

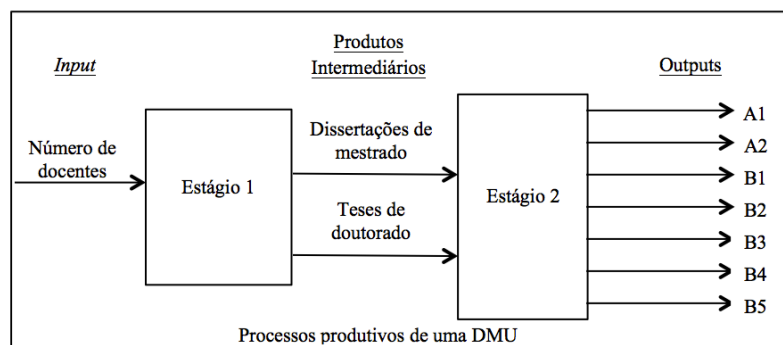


Figura 2 - Representação do sistema de 2 estágios

Vale destacar que a limitação temporal do modelo foi feita para manter coerência com a avaliação da CAPES, que leva em conta as publicações e defesas do mesmo triênio. A hipótese assumida neste trabalho é que há uma certa estabilidade na geração temporal de publicações pelas teses e dissertações, implicitamente também assumida pela CAPES na sua avaliação pois, na

verdade, não há como saber quando uma tese irá gerar um artigo, podendo ser antes ou depois da sua defesa.

O primeiro estágio está relacionado com a capacidade dos docentes dos programas (*input* exógeno) em orientar seus alunos na produção e defesa das dissertações de mestrado e teses de doutorado. Pode-se notar que o *input* exógeno é o recurso utilizado por cada programa na operacionalização do seu processo. Os produtos intermediários deste processo são as dissertações de mestrado e teses de doutorado, que são as variáveis de entrada (*inputs*) do segundo estágio. Os *outputs* finais do processo são as publicações do programa em revistas científicas avaliadas e bem classificadas no QUALIS e consideradas nos critérios de avaliação dos programas de pós-graduação pela CAPES. Foi considerado ainda o mesmo critério de saturação considerado pela CAPES onde o número de máximo de publicações em cada categoria de periódico é o triplo do número de docentes.

Considerando-se que o programa tenha critérios definidos para credenciar professores é razoável supor que, aumentando o número de professores aumente proporcionalmente o número de publicações e é possível também admitir mais alunos, de forma proporcional, pois há mais orientadores. Desta forma, é respeitado o axioma do raio ilimitado que é condição para usar o modelo CCR, com retorno constante de escala, não importando se as instituições são ou não de tamanho semelhante. Notea ainda que o usos do modelo CCR está também coerente com a avaliação da CAPES, que faz uso de simples ratios, o que equivale a um modelo CCR simplificado

Como o objetivo dos programas deve ser o aumento de suas publicações, o modelo deveria ser orientado à *output*, já que não faz sentido também reduzir o *input* número de docentes. No entanto, como o modelo é de retorno constante de escala, não é necessário definir a orientação pois, neste caso, as duas fornecem os mesmos índices de eficiência.

Em (11) é apresentado o modelo utilizado neste trabalho. Este modelo é uma evolução do modelo de Kao and Hwang (2008) apresentado em (9), onde a restrição  $\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n$ . foi retirada, pois a mesma é redundante como demonstrado por Kao (2009) e Chen *et al.* (2009).

$$\begin{aligned}
 E_0 &= \max \sum_{r=1}^7 u_r \cdot y_{r0} \\
 \text{s.t. } & v_1 \cdot x_{10} = 1 \\
 & \sum_{d=1}^2 w_d \cdot z_{dj} - v_1 \cdot x_{1j} \leq 0, \quad j \\
 & \sum_{r=1}^7 u_r \cdot y_{rj} - \sum_{d=1}^2 w_d \cdot z_{dj} \leq 0, \quad j \\
 & u_r, v_1, w_d \geq 0, \quad r; \quad d.
 \end{aligned} \tag{11}$$

As eficiências individuais das DMUs nos estágios 1 e 2 são dadas, respectivamente, pelas equações (12) e (13) enquanto que a eficiência global é calculada pela equação (14).



$$E_0^1 = \frac{\sum_{d=1}^2 w_d^* \cdot z_{d0}}{v_1^* \cdot x_{10}} \quad (12)$$

$$E_0^2 = \frac{\sum_{r=1}^7 u_r^* \cdot y_{r0}}{\sum_{d=1}^2 w_d^* \cdot z_{d0}} \quad (13)$$

$$E_0 = E_0^1 \times E_0^2 \quad (14)$$

Foram utilizados os dados do último triênio de avaliação (2010-2012), divulgados pela Capes e, assim, avaliados 42 programas de pós-graduação relacionados na Tabela 1. É importante destacar que foi desconsiderado apenas o programa de doutorado de Engenharia de Produção e Sistemas da PUC/PR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, que iniciou o curso em 2011.

Tabela 1 – Dados do modelo

Sigla Instituição	Nome	Docentes permanentes	Teses e Dissertações		Artigos completos publicados em periódicos técnico-científicos						
			Te	Di	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5
		DOCENTES	TESES	DISSERT	ART1	ART2	ART1	ART2	ART3	ART4	ART5
UNESP GUAR	ENGENHARIA MECÂNICA	34	80	119	43	46	70	57	12	43	58
UNICAMP	ENGENHARIA MECÂNICA	59	80	193	77	64	59	43	18	16	15
UFSC	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	27	77	48	6	21	43	67	81	81	81
ITA	ENGENHARIA AERONÁUTICA E MECÂNICA	70	65	198	57	69	96	34	6	71	64
UFSCAR	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	21	64	100	11	16	12	63	30	25	45
UFSC	ENGENHARIA MECÂNICA	46	59	143	75	29	51	20	12	15	19
UFRJ	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	21	57	127	17	27	44	19	36	29	16
USP	ENGENHARIA MECÂNICA	46	57	80	69	52	44	30	8	24	7
USP/SC	ENGENHARIA MECÂNICA	41	51	93	36	35	62	11	10	32	13
UFPB/J.P.	ENGENHARIA MECÂNICA	25	43	43	12	8	15	11	4	0	11
USP/SC	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	17	40	63	9	11	32	23	20	29	43
UFRJ	ENGENHARIA MECÂNICA	24	38	66	50	19	46	3	4	13	6
UFRGS	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	12	36	42	5	17	14	27	36	36	19
UFU	ENGENHARIA MECÂNICA	22	34	69	23	13	33	30	10	7	27
UFRJ	PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	12	33	59	39	16	4	4	11	2	3
UFRGS	ENGENHARIA MECÂNICA	29	32	75	37	28	28	12	7	29	30
UNIP	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	11	29	43	4	12	22	3	10	12	31
USP	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	28	29	26	6	7	8	37	13	27	16
UFMG	ENGENHARIA MECÂNICA	27	28	51	38	13	39	12	12	11	18
UFRJ	ENGENHARIA OCEÂNICA	17	27	86	9	13	3	6	6	6	2
UNIMEP	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	11	25	25	5	1	1	8	3	6	27
PUC-RIO	ENGENHARIA MECÂNICA	18	25	86	49	30	31	8	1	5	2
INPE	ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS	45	23	53	46	36	56	26	1	23	13
UFPR	ENGENHARIA MECÂNICA	19	22	28	36	22	25	17	12	6	6
UFRN	CIÊNCIA E ENGENHARIA DE PETRÓLEO	16	22	68	36	28	47	9	14	40	15

UFPR	MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA	25	22	52	10	14	24	7	17	32	33
UFPE	ENGENHARIA MECÂNICA	19	20	57	3	8	10	15	1	6	9
UFRN	ENGENHARIA MECÂNICA	23	20	93	21	14	29	12	10	35	25
UFPE	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	13	19	64	12	8	11	19	1	9	12
PUC-RIO	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	12	19	61	12	4	15	17	4	17	6
UFPA	ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA	10	17	0	11	6	6	4	2	10	4
UFF	ENGENHARIA MECÂNICA	17	13	40	51	34	19	14	7	6	2
USP	ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA	12	13	35	5	15	13	4	1	5	2
UFF	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	21	12	71	5	4	8	27	11	37	50
PUC/MG	ENGENHARIA MECÂNICA	12	11	45	22	6	6	3	4	4	1
UFBA	ENGENHARIA INDUSTRIAL	20	10	30	24	10	28	14	4	6	11
UNB	CIÊNCIAS MECÂNICAS	17	10	34	16	29	10	13	6	4	11
UNIFEI	ENGENHARIA MECÂNICA	17	10	27	16	5	26	7	5	4	7
UENF	ENGENHARIA DE RESERVATÓRIO E DE EXPLORAÇÃO	15	8	28	5	6	13	13	1	2	4
PUC/PR	ENGENHARIA MECÂNICA	12	5	14	17	16	12	2	0	1	10
UNICAMP	CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO	15	4	59	4	10	15	5	1	4	5
UNB	SISTEMAS MECATRÔNICOS	12	2	26	3	9	5	22	1	6	7

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o triênio 2010-2012 estudado, 42 programas de pós-graduação foram analisados, entre mestrados e doutorados. Foi descartado apenas o programa de doutorado de Engenharia de Produção e Sistemas da PUC/PR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, que iniciou o curso em 2011 e, assim, não possui dados neste triênio. A Tabela 2 apresenta as eficiências encontradas com o modelo NDEA multiplicativo relacional de dois estágios utilizado.

Tabela 2 – Resultados

Sigla Instituição	Nome	Eficiência 1º estágio	Eficiência 2º estágio	Eficiência global
UNESP/GUAR	ENGENHARIA MECÂNICA	0,66800	0,54159	0,36178
UNICAMP	ENGENHARIA MECÂNICA	0,52810	0,40155	0,21206
UFSC	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,52838	0,99586	0,52620
ITA	ENGENHARIA AERONÁUTICA E MECÂNICA	0,42880	0,50118	0,21491
UFSCAR	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,89130	0,40349	0,35963
UFSC	ENGENHARIA MECÂNICA	0,50118	0,40009	0,20052
UFRJ	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	1,00000	0,37000	0,37000
USP	ENGENHARIA MECÂNICA	0,33991	0,65575	0,22290
USP/SC	ENGENHARIA MECÂNICA	0,40085	0,51122	0,20492
UFPB/J.P.	ENGENHARIA MECÂNICA	0,39261	0,23503	0,09227
USP/SC	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,69150	0,53113	0,36728
UFRJ	ENGENHARIA MECÂNICA	0,49457	0,51904	0,25670
UFRGS	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,74185	0,68508	0,50823
UFU	ENGENHARIA MECÂNICA	0,53434	0,45480	0,24302
UFRJ	PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	0,87500	0,44051	0,38545
UFRGS	ENGENHARIA MECÂNICA	0,42110	0,52353	0,22046
UNIP	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,74704	0,42768	0,31949
USP	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,22418	0,70528	0,15811
UFMG	ENGENHARIA MECÂNICA	0,33394	0,62629	0,20914
UFRJ	ENGENHARIA OCEÂNICA	0,75863	0,15062	0,11426
UNIMEP	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,51877	0,33414	0,17334
PUC-RIO	ENGENHARIA MECÂNICA	0,70380	0,47045	0,33110
INPE	ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS	0,19275	0,97903	0,18871
UFPR	ENGENHARIA MECÂNICA	0,30034	0,93410	0,28055
UFRN	CIÊNCIA E ENGENHARIA DE PETRÓLEO	0,64198	0,76524	0,49127
UFPR	MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA	0,33783	0,60648	0,20488
UFPE	ENGENHARIA MECÂNICA	0,46253	0,22123	0,10232
UFRN	ENGENHARIA MECÂNICA	0,56073	0,42386	0,23767
UFPE	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,72868	0,28614	0,20851
PUC-RIO	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,76087	0,34140	0,25976

UFPA	ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA	0,19402	0,90807	0,17618
UFF	ENGENHARIA MECÂNICA	0,35582	1,00000	0,35582
USP	ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA	0,45652	0,35459	0,16188
UFF	ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	0,45109	0,56045	0,25281
PUC/MG	ENGENHARIA MECÂNICA	0,53261	0,40824	0,21743
UFBA	ENGENHARIA INDUSTRIAL	0,22826	0,85101	0,19425
UNB	CIÊNCIAS MECÂNICAS	0,29540	0,70169	0,20728
UNIFEI	ENGENHARIA MECÂNICA	0,24840	0,67396	0,16741
UENF	ENGENHARIA DE RESERVATÓRIO E DE EXPLORAÇÃO	0,27391	0,43980	0,12047
PUC/PR	ENGENHARIA MECÂNICA	0,18071	1,00000	0,18071
UNICAMP	CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO	0,47935	0,24503	0,11746
UNB	SISTEMAS MECATRÔNICOS	0,26630	0,65029	0,17317

De acordo com o resultado encontrado, apenas o programa de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foi eficiente no 1º estágio. Isto ocorre porque o programa possui um número elevado de dissertações e teses defendidas e, além disso, possui um número baixo de docentes cadastrados ao programa. No entanto, esta eficiência não se mantém alta no 2º estágio, pois se verifica que a quantidade de publicações não é tão elevada quando de outros programas. Assim, a eficiência global do programa é baixa, apesar do número elevado de defesas, já que o mesmo não consegue publicar estes trabalhos com tanta frequência.

Com relação ao 2º estágio, o único programa eficiente foi o de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR) uma vez que o mesmo apresenta um bom número de publicações em relação ao número de defesas de dissertações e teses. Por outro lado, o mesmo programa possui eficiência baixa no 1º estágio por possuir um baixo número de defesas, o que implica em uma eficiência global baixa.

O programa com maior eficiência global é o de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por possuir um número elevado de defesas de dissertações e teses e também de publicações. Para exemplificar, foi o único curso que atingiu o valor de saturação de publicações em 03 (três) categorias de revistas (B3, B4 e B5).

Por outro lado, o curso de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo (USP) obteve o menor índice de eficiência global por possuir elevado número de professores no programa e baixo número de publicações.

## 6. CONCLUSÕES

A utilização de um modelo NDEA, em oposição ao clássico DEA, ofereceu a vantagem de decompor o processo de produção dos programas de pós-graduação em 02 (dois) estágios sequenciais, onde a elaboração e defesa de dissertações de mestrado e teses de doutorado foram considerados produtos intermediários na produção dos outputs do processo, ou seja, as publicações em periódicos considerados válidos pela CAPES na avaliação trienal dos programas de pós-graduação, além da avaliação da eficiência associada a cada uma delas. Além disso, em relação aos programas ineficientes, a divisão do processo de produção tornou mais fácil identificar as fontes de ineficiência no processo como um todo.

Note-se que não houve nenhum programa globalmente eficiente. Este fato pode ser útil em estudos futuros de variáveis explicativas, já que poderá permitir uso de certas regressões que, por motivos técnicos, não podem ser usadas com DEA tradicional.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à Fundación Carolina.

## REFERÊNCIAS

Angulo-Meza, L., Biondi Neto, L., Brandão, L. C., Andrade, F. V. S., Soares de Mello, J. C. B. e Coelho, P. H. G., *Modelling with self-organising maps and data envelopment*

*analysis: A case study in educational evaluation* (Eds), *Self organizing maps, new achievements*, Intech, Vienna, 71-88, 2011.

- Angulo Meza, L., Soares de Mello, J. C. C. B. e Gomes Junior, S. F.**, *Benchmarking Distance Learning Centers with a Multiobjective Data Envelopment Analysis Model* em Holtzman, Y. (Eds), *Advanced Topics in Applied Operations Management*, Intech, 183-200, 2012.
- Banker, R. D., Charnes, A. e Cooper, W. W.** (1984), Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Boclin, R.** (1999), Indicadores de desempenho: Novas estratégias da educação superior, *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 7, 299-308.
- Bougnol, M.-L. e Dulá, J. H.** (2006), Validating DEA as a ranking tool: An application of DEA to assess performance in higher education, *Annals of Operations Research*, 145(1), 339-365.
- Charnes, A., Cooper, W. W. e Rhodes, E.** (1978), Measuring the efficiency of decision-making units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Chen, Y., Cook, W. D., Li, N. e Zhu, J.** (2009), Additive efficiency decomposition in two-stage DEA, *European Journal of Operational Research*, 196(3), 1170-1176.
- Chen, Y. e Zhu, J.** (2004), Measuring Information Technology's Indirect Impact on Firm Performance, *Information Technology and Management* 5(1-2), 9-22.
- Chilingerian, J. A. e Sherman, H. D.**, *Health care applications: From hospitals to physicians, from productive efficiency to quality frontiers* em Cooper, W. W., Seiford, L. M. e Zhu, J. (Eds), *Handbook on data envelopment analysis*, Springer, Boston, 2004.
- Cooper, W. W., Seiford, L. e Tone, K.**, *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*, Kluwer, Boston, 2000.
- de França, J. M. F., de Figueiredo, J. N. e dos Santos Lapa, J.** (2010), A DEA methodology to evaluate the impact of information asymmetry on the efficiency of not-for-profit organizations with an application to higher education in Brazil, *Annals of Operations Research*, 173(1), 39-56.
- Färe, R. e Grosskopf, S.** (2000), Network DEA, *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(1), 35-49.
- Gomes Junior, S. F., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L.** (2013), DEA nonradial efficiency based on vector properties, *International Transactions in Operational Research*, 20(3), 341-364.
- Kao, C.** (2009), Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model, *European Journal of Operational Research*, 192(3), 949-962.
- Kao, C. e Hwang, S. N.** (2008), Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan, *European Journal of Operational Research*, 185(1), 418-429.
- Moreno, P. e Lozano, S.** (2014), A network DEA assessment of team efficiency in the NBA, *Annals of Operations Research*, 214(1), 99-124.
- Narasimhan, R., Talluri, S. e Das, A.** (2004), Exploring flexibility and execution competencies of manufacturing firms, *Journal of Operations Management*, 22, 91-106.
- Seiford, L. M. e Zhu, J.** (1999), Profitability and marketability of the top 55 U.S. commercial banks, *Management Science*, 45(9), 1270-1288.
- Sexton, T. R. e Lewis, H. F.** (2003), Two-stage DEA: An application to major league baseball, *Journal of Productivity Analysis*, 19, 227-249.

- Soares de Mello, J. C. C. B., Gomes, E. G., Angulo-Meza, L., Soares de Mello, M. H. C. e Soares de Mello, A. J. R.** (2006), Engineering Post-Graduate Programmes: A Quality and Productivity Analysis, *Studies in Educational Evaluation*, 32, 136-152.
- Thanassoulis, E., Portela, M. C. e Allen, R.**, *Incorporating Value Judgments in DEA* em Cooper, W. W., Seiford, L. M. e Zhu, J. (Eds), *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 99-138, 2004.
- Thieme, C., Giménez, V. e Prior, D.** (2012), A comparative analysis of the efficiency of national education systems, *Asia Pacific Education Review*, 13(1), 1-5.
- Tone, K. e Tsutsui, M.** (2009), Network DEA: A slacks-based measure approach, *European Journal of Operational Research*, 197(1), 243-252.
- Tyagi, P., Yadav, S. P. e Singh, S. P.** (2009), Relative performance of academic departments using DEA with sensitivity analysis, *Evaluation and Program Planning*, 32(2), 168-177.
- Zhu, J.** (2000), Multi-factor performance measure model with an application to Fortune 500 companies, *European Journal of Operational Research*, 123(1), 105-124.