



SPOLM 2009

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2009.

## 087/2009 - UMA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA COM UM MODELO DA ANÁLISE ENVOLÓTORIA DE DADOS

**Leilane Louzada Lima**

Universidade Federal Fluminense

Av. dos Trabalhadores 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, Rio de Janeiro, RJ

[leilanelouzada@yahoo.com.br](mailto:leilanelouzada@yahoo.com.br)

**Diane Pires Coutinho**

Universidade Federal Fluminense

Av. dos Trabalhadores 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, Rio de Janeiro, RJ

[diane.coutinho@gmail.com](mailto:diane.coutinho@gmail.com)

**Lidia Angulo Meza**

Universidade Federal Fluminense

Av. dos Trabalhadores 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, Rio de Janeiro, RJ

[lidia@metal.eeimvr.uff.br](mailto:lidia@metal.eeimvr.uff.br)

### Resumo

Periodicamente são avaliados pela CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – os programas de pós-graduação das Instituições de Ensino Superior. Este artigo tem como objetivo avaliar a qualidade dos programas de pós-graduação em Engenharia III. As eficiências dos programas de pós-graduação serão avaliadas do ponto de vista da produção científica. Para isso são utilizados modelos de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) que determinam os índices de eficiência das unidades em avaliação. Neste trabalho serão avaliados 27 programas de pós-graduação correspondentes ao grupo de Engenharia III e determinada, também, uma ordenação dos mesmos. Resultados são apresentados e discutidos, assim como possíveis direções para este trabalho.

**Palavras-Chaves:** Análise Envoltória de Dados, Avaliação de eficiência; Programas de pós-graduação.

## Abstract

Periodically, CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) evaluates the Post-Graduate programs of the Universities. This work aims to evaluate the quality of the Post-Graduate programs in Engineering III Group. The efficiencies of the Post-Graduate programs will be evaluated in terms of their scientific production. For this purpose Data Envelopment Analysis (DEA) models are used to determine efficiency indexes of the units under evaluation. This work will evaluate 27 Post-Graduate Programs for the Engineering group III and we will determine a ranking for these Programs. Results are presented and discussed, as well as possible future directions for this work.

**Keywords:** Data envelopment analysis, Evaluation of efficiency; Post-graduate programs.

## 1. INTRODUÇÃO

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) avalia trienalmente os cursos de mestrado e doutorado das Instituições de Ensino Superior do Brasil (IES) no intuito de estabelecer o padrão de qualidade exigido dos cursos de pós-graduação e identificar os cursos que atendem tal padrão, fundamentar autorização, reconhecimento e renovação de reconhecimento dos cursos de mestrado e doutorado do Brasil, contribuir para o aperfeiçoamento de cada programa de pós-graduação, dotar o país de um eficiente banco de dados sobre a situação e evolução da pós-graduação; etc.

Esse artigo tem como objetivo avaliar a qualidade dos programas de pós-graduação dos cursos de Engenharia III utilizando os dados disponibilizados pela CAPES. A modelagem de Análise Envoltória de Dados (DEA) será utilizada para a avaliação de tal qualidade, que neste caso é entendida como a capacidade das teses e dissertações se tornarem publicações científicas.

Na primeira abordagem os dados são tratados sem restrições de pesos, o que permite uma análise abrangente da eficiência de cada Unidade de Tomada de Decisão (DMU), pois uma DMU pode ser considerada 100% eficiente mesmo desconsiderando a maioria de suas variáveis importantes.

Quando as restrições são impostas ao modelo, segunda abordagem, a qualidade dos programas de pós-graduação é calculada mais de acordo com a realidade, uma vez que produções científicas internacionais são mais significativas que as nacionais, por exemplo.

Desta forma, o estudo foi dividido de forma apresentar uma breve explicação de Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) [1], voltada a metodologia específica para este trabalho, e, em seguida o modelo DEA CCR sem restrições aos pesos e o modelo com restrições aos pesos é aplicado aos dados de cada IES. Por fim, foi realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos em DEA e os encontrados pela CAPES.

## 2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

A Análise Envoltória de Dados [1] é uma metodologia que permite a avaliação da eficiência de Unidades de Tomada de Decisão, chamada de DMU (Decision Making Units), a partir da análise de comparação dessas unidades que utilizam múltiplos recursos (inputs) e produzem múltiplos produtos (outputs). A eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão entre a soma ponderada de outputs e a soma ponderada dos inputs necessários para gerá-los. Os pesos usados nas ponderações são obtidos a partir de modelos de programação fracionária que atribui a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência. O uso de DEA é interessante quando se deseja determinar a eficiência das DMU's onde não seja relevante ou não se deseja considerar somente o

aspecto financeiro [2].

Dois modelos são considerados clássicos em DEA, CCR [1] e BCC [3]. O modelo CCR constrói uma superfície linear por partes não paramétrica, envolvendo os dados e trabalha com retornos constantes de escala, isto é, qualquer variação nos inputs produz variação proporcional nos outputs. Esse modelo é também conhecido como modelo CRS (Constant Returns to Scale). O modelo BCC considera retornos variáveis de escala, isto é, substitui o axioma da proporcionalidade entre inputs e outputs pelo axioma da convexidade. Por isso, esse modelo é igualmente conhecido como VRS (Variable Returns to Scale).

Os modelos de DEA são orientados segundo o fim a que se destinam: quando se deseja manter as saídas constantes, enquanto variam-se os dados de entrada, tem-se o modelo com orientação input; no caso contrário, quando se deseja manter as entradas constantes ao se variar as saídas, tem-se o modelo com orientação output.

São mostrados a seguir os modelos linearizados dos multiplicadores (1) e do envelope (2), do modelo CCR com orientação output.

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

$$\begin{aligned}
 \text{Max } h_o \\
 \text{sujeito a} \\
 x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\
 -h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\
 \lambda_k &\geq 0, \forall k
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

O modelo envelope tem como característica a determinação de alvos para as DMU's, ou seja, determinam-se metas para todas as variáveis que devem ser atingidas para as DMU's classificadas como ineficientes se tornarem eficientes.

Os modelos DEA clássicos permitem total liberdade em relação à seleção dos pesos que darão o máximo valor de eficiência a uma dada DMU. Essa liberdade é importante na identificação das unidades ineficientes, ou seja, aquelas DMU's que apresentam um baixo desempenho, inclusive com seu próprio conjunto de multiplicadores. A flexibilidade (com base no PPL, problema de programação linear) na escolha dos pesos é uma das vantagens apontadas à modelagem por DEA. Entretanto, os pesos calculados podem ser inconsistentes com os conhecimentos que temos em relação aos valores relativos de inputs e outputs. Assim, a incorporação de julgamentos de valor no cálculo das eficiências surge como uma evolução natural das aplicações de DEA a problemas reais, ou seja, há a necessidade da introdução de condições além das de não negatividade.

A incorporação de julgamentos de valor através de restrições aos pesos pode ser dividida em três grupos de métodos [4]: restrições diretas sobre os multiplicadores; ajuste dos níveis de input-output observados para a captura de julgamentos de valor (regiões de segurança I e II) e; restrição a inputs e outputs virtuais.

No primeiro caso, restrições diretas aos pesos impõem limites numéricos aos multiplicadores com o objetivo de não superestimar ou ignorar inputs e outputs na análise, mas esse

tipo de restrição pode levar a inviabilidade do PPL, já que estabelecer um limite superior ao peso de um input implica em um limite inferior no input virtual do restante das variáveis [5].

A outra abordagem, ajuste dos níveis de input-output observados, pede apenas que o decisor indique uma ordenação de importância entre os inputs e outputs considerados, chamados de regiões de segurança [4]. Mesmo que essa abordagem ainda permita a existência de pesos nulos, os julgamentos de valor emitidos são, normalmente, consensuais.

Na última abordagem, é preciso indicar percentuais de importância da contribuição de cada variável a variável virtual. Ainda que evite completamente o problema da existência de pesos nulos, pode levar a inviabilidade dos PPL's.

Pelo anteriormente exposto, neste trabalho será adotado o método regiões de segurança, pois permite comparação entre os pesos das variáveis em vez de julgamentos absolutos. Esta abordagem permite um menor problema de inviabilidade e, em alguns casos, a correta interpretação das restrições exige prévia normalização das variáveis [6].

Um exemplo de um modelo CCR, orientação input, com restrições deste tipo pode ser observado no modelo (3).

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \\
 & \text{Sujeito a} \\
 & \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \\
 & \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \\
 & Ii_i \leq \frac{v_i}{v_j} \leq Is_i \\
 & Oi_i \leq \frac{u_i}{u_j} \leq Os_i \\
 & u_j, v_i \geq 0, \forall j, i
 \end{aligned} \tag{3}$$

### 3. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Neste artigo são avaliadas 27 (vinte e sete) IES que oferecem programas de pós-graduação no grupo de Engenharias III, no triênio de 2004-2006 (inclusive), de acordo com as informações coletadas pela CAPES [7], com o objetivo de identificar as instituições eficientes. Também, pretende-se obter uma ordenação das mesmas. As variáveis utilizadas serão as mesmas adotadas por Soares de Mello [5] e Soares de Mello [8] na avaliação da qualidade das IES.

Para tal avaliação foi utilizado o modelo CCR [1] com orientação output. A escolha do modelo é justificada no fato de todos os programas de pós-graduação apresentar escalas semelhantes de operação, ou seja, o efeito de escala para cada programa é irrelevante. Já a orientação output deve-se ao fato de não haver possibilidade de minimizar o número de dissertações e teses defendidas. Para obter uma melhor ordenação das instituições, foram utilizados modelos com restrições aos pesos, que também permitem introduzir dentro dos modelos informações sobre a importância das variáveis usadas na análise.

O software SIAD [9] foi utilizado de forma a auxiliar os cálculos necessários para a aplicação do modelo DEA.

As unidades selecionadas são representadas por 27 Instituições de Ensino Superior, sendo estas apresentadas na Tabela 1.

Para a avaliação da qualidade científica, as variáveis selecionadas representam as teses e dissertações publicadas e as publicações provenientes dessas teses e dissertações. Como inputs foram escolhidos as Teses de Doutorado (TD) e as Dissertações de Mestrado (DM); como outputs, as publicações em Revistas Internacionais (RI), em Revistas Nacionais (RN), em Congressos Internacionais (CI) e Nacionais (CN) e Livros publicados (L). Este modelo mede a capacidade de cada programa de gerar publicações científicas baseadas nas teses e dissertações defendidas [8].

Os dados utilizados referem-se ao somatório das variáveis para o período compreendido entre 2004 e 2006 (inclusive).

Então, o modelo DEA CCR foi construído a partir de 27 DMU's, 2 inputs e 5 outputs. A Tabela 2 apresenta os valores das variáveis.

TABELA 1 - Unidades de tomada de decisão (DMU's)

Sigla	Curso	Nome completo
UNICAMP	Engenharia Mecânica	Universidade Estadual de Campinas
UFRJ	Engenharia Mecânica	Universidade Federal do Rio de Janeiro
ITA	Engenharia Aeronáutica e Mecânica	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
UFSC	Engenharia Mecânica	Universidade de Santa Catarina
PUC-RIO	Engenharia Mecânica	Pontifícia Universidade Católica - Rio de Janeiro
UFRJ	Engenharia de Produção	Universidade Federal do Rio de Janeiro
INPE	Engenharia e Tecnologia Espaciais	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
USP/SC	Engenharia Mecânica	Universidade de São Paulo - São Carlos
UFU	Engenharia Mecânica	Universidade Federal de Uberlândia
USP/SC	Engenharia de Produção	Universidade de São Paulo - São Carlos
UFPE	Engenharia de Produção	Universidade Federal de Pernambuco
UFRGS	Engenharia de Produção	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USP	Engenharia Mecânica	Universidade de São Paulo
USP	Engenharia (Engenharia de Produção)	Universidade de São Paulo
UFSCAR	Engenharia de Produção	Universidade Federal de São Carlos
UNESP/GUAR	Engenharia Mecânica	Universidade Estadual Paulista – Guaratinguetá
UFPB/J.P.	Engenharia Mecânica	Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa
UFMG	Engenharia Mecânica	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRGS	Engenharia Mecânica	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ	Engenharia Oceânica	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNIMEP	Engenharia de Produção	Universidade Metodista de Piracicaba
PUC-RIO	Engenharia de Produção	Pontifícia Universidade Católica - Rio de Janeiro
UNIFEI	Engenharia Mecânica	Universidade Federal de Itajubá
UFSC	Engenharia de Produção	Universidade de Santa Catarina
USP	Engenharia Naval e Oceânica	Universidade de São Paulo
UENF	Engenharia de Reservatório e de Exploração	Universidade Federal do Norte Fluminense
UNICAMP	Ciências e Engenharia de Petróleo	Universidade Estadual de Campinas

TABELA 2 – Valores para as variáveis.

DMU	CURSO	Inputs		Outputs				
		TD	DM	RI	RN	CI	CN	L
UNICAMP	Engenharia Mecânica	87	133	157	58	217	210	5
UFRJ	Engenharia Mecânica	28	78	66	9	152	108	2
ITA	Engenharia Aeronáutica e Mecânica	27	110	129	27	190	180	0
UFSC	Engenharia Mecânica	55	112	81	45	210	190	7
PUC-RIO	Engenharia Mecânica	19	56	47	7	161	87	2
UFRJ	Engenharia de Produção	101	120	52	11	22	43	14
INPE	Engenharia e Tecnologia Espaciais	21	41	173	6	55	25	0
USP/SC	Engenharia Mecânica	54	75	76	15	84	127	2
UFU	Engenharia Mecânica	28	45	59	28	103	217	0
USP/SC	Engenharia de Produção	2	88	16	22	31	156	2
UFPE	Engenharia de Produção	15	58	17	19	32	84	5
UFRGS	Engenharia de Produção	21	52	7	23	40	125	3
USP	Engenharia Mecânica	44	126	105	23	227	124	1
USP	Engenharia (Engenharia de Produção)	44	44	45	56	108	164	5
UFSCAR	Engenharia de Produção	39	94	22	48	30	184	12
UNESP/GUAR	Engenharia Mecânica	22	54	45	20	46	132	2
UFPB/J.P.	Engenharia Mecânica	25	30	32	6	50	105	1
UFMG	Engenharia Mecânica	25	69	34	37	157	133	1
UFRGS	Engenharia Mecânica	22	45	58	32	104	77	5
UFRJ	Engenharia Oceânica	14	74	29	4	72	75	0
UNIMEP	Engenharia de Produção	14	91	9	23	43	101	3
PUC-RIO	Engenharia de Produção	19	55	9	8	18	35	4
UNIFEI	Engenharia Mecânica	8	27	21	6	53	64	0
UFSC	Engenharia de Produção	14	45	8	14	31	109	5
USP	Engenharia Naval e Oceânica	5	27	14	0	36	33	0
UENF	Engenharia de Reservatório e de Exploração	5	18	10	14	20	5	0

#### 4. PRIMEIRA MODELAGEM – MODELO DEA CCR SEM RESTRIÇÕES AOS PESOS

Como já citado, essa modelagem avalia a qualidade dos programas de pós-graduação de forma benevolente, pois o modelo irá maximizar o número de DMU's eficientes considerando apenas o conjunto de variáveis que contribuem para tal feito.

Os resultados de eficiência e os pesos atribuídos pelo modelo para as variáveis estão representados na Tabela 3. Essa tabela está organizada da seguinte maneira: de 1 a 13 encontram-se as IES que apresentam pós-graduação em engenharia mecânica, de 14 a 22 as IES que apresentam pós-graduação em engenharia de produção e de 23 a 27 as IES que apresentam pós-graduação em outras engenharias, todas dentro do grupo III.

Na Tabela 3, pôde ser observado que existem de um a cinco pesos nulos para cada DMU. Mesmo sabendo-se que os conjuntos de pesos obtidos pelos modelos DEA não são únicos, pode-se dizer que as variáveis estão sendo desconsideradas como critérios de avaliação. Então, torna-se necessário um refinamento do modelo usado, pois um grande número de critérios julgados importantes na avaliação podem não estar sendo levados em consideração.

TABELA 3 – Resultados do modelo DEA CCR, sem restrições aos pesos.

	DMU	Eficiência (%)	Pesos						
			TD	DM	RI	RN	CI	CN	L
1	UNICAMP	69,9	0,0034	0,0085	0,0015	0,0023	0,0027	0,0002	0,0000
2	UFRJ	76,7	0,0211	0,0091	0,0035	0,0000	0,0029	0,0023	0,0386
3	ITA	100,0	0,0213	0,0039	0,0027	0,0000	0,0017	0,0018	0,0000
4	UFSC	77,6	0,0060	0,0085	0,0000	0,0000	0,0026	0,0013	0,0288
5	PUC-RIO	100,0	0,0231	0,0100	0,0038	0,0000	0,0032	0,0025	0,0422
6	USP/SC	53,4	0,0122	0,0161	0,0048	0,0000	0,0000	0,0036	0,0878
7	UFU	100,0	0,0000	0,0222	0,0000	0,0000	0,0000	0,0046	0,0000
8	USP	70,3	0,0072	0,0088	0,0018	0,0032	0,0030	0,0004	0,0000
9	UNESP/GUAR	82,0	0,0307	0,0101	0,0054	0,0056	0,0000	0,0039	0,0680
10	UEPB/J.P.	81,7	0,0000	0,0408	0,0088	0,0000	0,0000	0,0061	0,0808
11	UFMG	100,0	0,0248	0,0055	0,0000	0,0119	0,0025	0,0012	0,0000
12	UFRGS	100,0	0,0309	0,0071	0,0022	0,0139	0,0029	0,0017	0,0000
13	UNIFEI	98,8	0,0751	0,0152	0,0090	0,0000	0,0064	0,0074	0,0000
14	UFRJ	94,0	0,0000	0,0089	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0675
15	USP/SC	100,0	0,0326	0,0106	0,0000	0,0000	0,0000	0,0064	0,0000
16	UFPE	96,9	0,0511	0,0046	0,0072	0,0027	0,0000	0,0000	0,1652
17	UFRGS	84,5	0,0280	0,0114	0,0000	0,0143	0,0000	0,0041	0,0511
18	USP	100,0	0,0000	0,0227	0,0000	0,0065	0,0000	0,0039	0,0000
19	UFSCAR	100,0	0,0182	0,0031	0,0000	0,0102	0,0000	0,0000	0,0425
20	UNIMEP	67,5	0,0501	0,0086	0,0000	0,0282	0,0000	0,0000	0,1173
21	PUC-RIO	63,3	0,0411	0,0145	0,0066	0,0000	0,0000	0,0000	0,2352
22	UFSC	100,0	0,0318	0,0123	0,0000	0,0000	0,0000	0,0067	0,0548
23	INPE	100,0	0,0000	0,0244	0,0058	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	UFRJ	58,5	0,0589	0,0119	0,0070	0,0000	0,0051	0,0058	0,0000

25	USP	76,3	0,1252	0,0254	0,0149	0,0000	0,0107	0,0123	0,0000
26	UENF	100,0	0,0671	0,0369	0,0000	0,0506	0,0146	0,0000	0,0000
27	UNICAMP	100,0	0,1857	0,0021	0,0207	0,0000	0,0073	0,0000	0,0000

## 5. SEGUNDA MODELAGEM – MODELO DEA CCR COM RESTRIÇÕES AOS PESOS

Para este estudo de caso, é recomendada a inclusão de restrições aos pesos no modelo, uma vez que há a necessidade de obter uma melhor ordenação e a indesejável existência de múltiplos pesos nulos. Além disso, existe conhecimento prévio da importância das variáveis na análise.

Assim, foi adotada uma segunda abordagem, usando regiões de segurança, com os seguintes julgamentos de valor: para a produtividade científica, as publicações em revista são mais relevantes que as publicações em congresso; as publicações internacionais são preferíveis às publicações nacionais; e a publicação em revista internacional é mais importante que livros. Com relação aos inputs, considera-se que as teses de doutorado, pela necessidade de ineditismo teórico, são consideradas mais relevantes que as dissertações de mestrado [8].

Para a aplicação correta dos pesos, os dados correspondentes às variáveis foram normalizados. Com a aplicação do modelo DEA CCR com restrições aos pesos, foram obtidos os resultados da Tabela 4, na qual apresentam-se a eficiência e os pesos de cada DMU. A Tabela 4 apresenta-se organizada semelhante à Tabela 3.

TABELA 4 – Resultados do modelo DEA CCR, com restrições aos pesos.

	DMU	Eficiência (%)	Pesos						
			TD	DM	RI	RN	CI	CN	L
1	UNICAMP	64,8	0,8288	0,8288	0,3079	0,3079	0,3079	0,1168	0,0149
2	UFRJ	70,7	2,7905	1,0944	0,6656	0,4147	0,6656	0,4147	0,2074
3	ITA	100,0	1,9606	0,5754	0,4339	0,2863	0,3652	0,2863	0,1058
4	UFSC	70,3	1,6262	0,6378	0,3879	0,2417	0,3879	0,2417	0,1209
5	PUC-RIO	91,2	3,1045	1,2175	0,7405	0,4613	0,7405	0,4613	0,2307
6	USP/SC	46,5	1,9579	1,9579	0,7403	0,4160	0,7403	0,4160	0,3483
7	UFU	100,0	2,6282	0,8021	0,4391	0,4391	0,4391	0,4391	0,0000
8	USP	66,7	1,9480	0,6866	0,4415	0,4122	0,4415	0,2225	0,0000
9	UNESP/GUAR	73,7	3,9206	1,2366	0,9121	0,6167	0,6167	0,6167	0,3500
10	UEPB/J.P.	61,5	3,4394	3,4394	1,3838	0,8496	0,8496	0,8496	0,8106
11	UFMG	95,1	2,5829	0,7936	0,5499	0,5499	0,5207	0,2953	0,0000
12	UFRGS	100,0	1,7980	1,7980	0,7706	0,3418	0,3418	0,3418	0,7706
13	UNIFEI	93,5	7,8547	2,2015	1,5733	1,1482	1,5058	1,1482	0,0000
14	UFRJ	36,5	1,4406	1,4406	0,6819	0,5964	0,0000	0,0000	0,6819
15	USP/SC	100,0	50,5000	0,0000	0,7534	0,7534	0,7534	0,7534	0,0000
16	UFPE	78,3	5,7537	0,9699	1,3776	1,1375	0,0000	0,0000	1,3776
17	UFRGS	67,1	4,3707	1,4846	0,7526	0,7526	0,7526	0,7526	0,4900
18	USP	100,0	1,3047	1,3047	0,5393	0,5393	0,2192	0,2192	0,1934
19	UFSCAR	79,1	2,4708	0,4388	0,5519	0,5519	0,0000	0,0000	0,5519
20	UNIMEP	58,2	4,7695	1,5434	0,7589	0,7589	0,7589	0,7589	0,7589
21	PUC-RIO	41,9	9,2478	1,5589	2,2142	1,8282	0,0000	0,0000	2,2142
22	UFSC	83,1	5,4800	1,3103	1,2927	0,5436	0,5436	0,5436	1,2927



23	INPE	100,0	1,9373	1,9373	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	UFRJ	52,6	6,4520	1,8083	1,2923	0,9432	1,2369	0,9432	0,0000
25	USP	64,8	15,4277	3,8418	3,2992	1,9758	2,7274	1,9758	0,0000
26	UENF	100,0	14,9037	1,9373	3,3504	3,3405	0,0000	0,0000	0,0000
27	UNICAMP	100,0	18,7547	0,2799	3,5869	0,0000	1,6463	0,0000	0,0000

Ao se comparar as Tabelas 3 e 4, pode-se observar uma redução no número de DMU's eficientes de doze para oito, como resultado da inclusão das restrições aos pesos e também houve uma redução no número de pesos nulos, observando a existência de um a quatro pesos nulos. Foi possível assim, uma melhor ordenação das DMU's e uma avaliação mais completa por desconsiderar um menor número de variáveis.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As DMU's que se mostraram ineficientes no modelo CCR sem restrições aos pesos, no modelo com restrições aos pesos também não são eficientes, uma vez que ao fazer a melhor combinação de pesos entre suas variáveis não é possível obter eficiência máxima.

Ao se comparar os dois modelos revela-se que as DMU's PUC-RIO (5), UFMG (11) e UNIFEI (13), no curso de engenharia mecânica e UFSCAR (19) e UFSC (22), engenharia de produção, apenas foram eficientes no modelo DEA sem restrições aos pesos. Isto indica que no modelo inicial, estas DMU's eram eficientes devido a uma combinação muito particular de pesos.

Observa-se que as DMU's ITA (3), UFU (7) e UFRGS (12), engenharia mecânica, USP/SC (15) e USP (18), engenharia de produção, INPE (23), UENF (26), e UNICAMP (27), outras engenharias, são eficientes em ambos os modelos. Esta situação indica uma robustez na eficiência. É interessante observar que dentre estas oito DMU's, nenhuma recebeu conceito máximo na avaliação realizada pela CAPES. As DMUs UNICAMP (1) e UFRJ (2), no curso de engenharia mecânica foram as que receberam conceito máximo pela CAPES. Porém, na avaliação da eficiência dessas DMU's através de DEA, nos modelos sem e com restrições aos pesos, a UNICAMP (1) apresentou eficiência inferior a 70% e a UFRJ (2), inferior a 77%, observa-se tal ocorrência devido as duas instituições apresentarem maior número de dissertações de mestrado defendidas que teses de doutorado e maior participação em congressos que revistas.

No modelo sem restrições a USP/SC (6), engenharia mecânica, apresentou a menor eficiência (53,4%) e no modelo com restrições aos pesos a UFRJ (14), engenharia de produção, obteve a menor eficiência, 36,5%. Isso ocorreu devido a USP/SC apresentar uma maior quantidade de artigos completos publicados em revistas que a PUC-RIO. Já pela avaliação da CAPES a USP/SC e a UFRJ receberam os conceitos 5 e 6, respectivamente.

Dentre as instituições selecionadas no trabalho, treze apresentam programas de doutorado e mestrado na área de engenharia mecânica, porém apenas cinco apresentam eficiência máxima no modelo sem restrições aos pesos e três no modelo com restrições. Tais DMU's que apresentaram máxima eficiência não são as mesmas que receberam o maior conceito na avaliação realizada pela CAPES, que foram UNICAMP (1) e UFRJ (2). Apesar de ambas instituições apresentarem boa participação em publicações internacionais elas têm pouca representação em revistas quando comparadas a congressos. Isso mostra que o modelo de avaliação de eficiência em DEA é diferente ao tipo de avaliação da CAPES. A DMU USP/SC (6) apresenta a menor eficiência nos dois modelos, ainda que não tenha pesos nulos no modelo com restrições, ou seja, desconsiderou nenhum critério de avaliação. Isso prova que esta DMU é ineficiente, independente no método de

análise utilizado.

Em relação aos nove programas de pós-graduação voltados a engenharia de produção, quatro IES apresentam 100% de eficiente no modelo sem restrições aos pesos, USP/SC (15), USP (18), UFSCAR (19) e UFSC (22), e duas (modelo com restrições), USP/SC (15) e USP (18). A DMU PUC-RIO (21) apresentou a menor eficiência no modelo sem restrições e a segunda menor eficiência no modelo com restrições aos pesos. No modelo com restrições aos pesos a participação em congressos foi desconsiderada e isso sugere que a sua ineficiência pode estar relacionada ao fato de essa DMU apresentar poucas publicações em revistas, mesmo tendo boa participação em congressos, uma vez que as publicações em revistas são mais relevantes. A UFRJ (14) apresentou a maior discrepância entre suas eficiências nos dois modelos. No modelo sem restrições a eficiência apresentada é de 94% e no modelo com restrições é de 36,5%, a menor eficiência. Estes valores comprovam que o valor alto de sua eficiência está condicionado a uma combinação de pesos muito particular. A UFRJ apresenta uma quantidade bastante significativa de insumos e gera poucos recursos, o que caracteriza uma DMU ineficiente, e no modelo com restrições aos pesos essa característica fica mais evidente.

Cinco instituições de ensino superior apresentam programas de pós-graduação na área de engenharia, classificadas como outras neste trabalho, porém três apresentam eficiência máxima nos dois modelos abordados. Isso mostra a robustez desses programas de mestrado e doutorado. Tais resultados em DEA ocorreram devido a: o INPE (23) apresenta uma expressiva quantidade de artigos completos publicados em revistas internacionais; a UENF (26) apesar das poucas teses de doutorado defendidas apresenta significativas publicações em revistas técnico-científicas; e a UNICAMP (27) tem considerável participação em revistas e congressos internacionais. As DMUs que não foram eficientes no modelo sem restrições continuam sendo ineficientes no modelo com restrições aos pesos.

## 7. CONCLUSÃO

Neste trabalho, a ferramenta DEA (Análise Envoltória de Dados) apresentou grande importância para a avaliação da qualidade científica dos programas de pós-graduação em Engenharia do grupo III conforme classificação da CAPES.

As informações utilizadas para a realização do modelo DEA com restrições aos pesos são consensuais na comunidade científica, uma vez que os resultados obtidos não estão relacionados com opiniões subjetivas e sempre polêmicas dos avaliadores.

Para um refinamento do modelo DEA clássico, a inclusão de restrições aos pesos permite a consistência nos resultados, ressalta-se que tal utilização tornou-se importante para que o resultado final apresentasse os outputs mais relevantes.

Ao se observar os resultados obtidos em DEA no modelo sem restrições aos pesos percebe-se que 12 DMU's foram eficientes, porém quando se restringe aos pesos esse número diminui para 8 DMU's, explica-se tal fato devido à combinação de pesos no modelo clássico permitir total liberdade em relação à seleção dos pesos que darão o máximo valor de eficiência a uma dada DMU.

Cabe destacar que a análise deste trabalho é meramente comparativa a avaliação realizada pela CAPES.

Propõem-se ainda trabalhos futuros com uma análise mais completa, neste caso, incluindo uma análise da produtividade destes programas de pós-graduação. Esta análise poderá ser realizada de forma semelhante à utilizada por [8], pois relaciona a produção de cada programa de pós-graduação com os recursos disponíveis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CHARNES, A., COOPER, W. W. & RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*. Vol. 2, n., p. 429-444, 1978.
- [2] GOMES, E. G., SOARES DE MELLO, J. C. C. B., SERAPIÃO, B. P., LINS, M. P. E. & BIONDI NETO, L. Avaliação de Eficiência de Companhias Aéreas Brasileiras: Uma Abordagem por Análise de Envoltória de Dados. . *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes* 2001. Vol. 2, n., p. 125-133, 2001.
- [3] BANKER, R. D., CHARNES, A. & COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science* Vol. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- [4] ALLEN, R., ATHANASSOPOULOS, A., DYSON, R. G. & THANASSOULIS, E. Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*. Vol. 73, n., p. 13-34, 1997.
- [5] SOARES DE MELLO, J. C. C. B., GOMES, E. G., ANGULO-MEZA, L. & SOARES DE MELLO, M. H. C. Uma Análise da qualidade e da produtividade de Programas de Pós-Graduação em Engenharia. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*. Vol. 39, n. 11, p. 167-179, 2003.
- [6] THOMPSON, R. G., SINGLETON JUNIOR, F. D., THRALL, R. M. & SMITH, B. A. Comparative evaluation for locating a high-energy physics lab in Texas. *Interfaces*. Vol. 16, n., p. 35-49, 1986.
- [7] CAPES. CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. 2008. Acesso em: maio.
- [8] SOARES DE MELLO, J. C. C. B., GOMES, E. G., ANGULO-MEZA, L., SOARES DE MELLO, M. H. C. & SOARES DE MELLO, A. J. R. Engineering Post-Graduate Programmes: A Quality and Productivity Analysis. *Studies in Educational Evaluation*. Vol. 32, n. 2, p. 136-152, 2006.
- [9] ANGULO-MEZA, L., BIONDI NETO, L., SOARES DE MELLO, J. C. C. B. & GOMES, E. G. ISYDS - integrated System for Decision Support (SIAD Sistema Integrado de Apoio a Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Model. *Pesquisa Operacional*. Vol. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.