
EXPLORANDO A EFICIÊNCIA DAS ATIVIDADES DE GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO EM UNIVERSIDADES BRASILEIRAS: UMA NOVA ABORDAGEM DEA EM REDE PARALELA COM RECURSOS COMPARTILHADOS

Felipe Alves Mendes da Silva, Lívia Mariana Lopes de Souza Torres
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UFPE
Avenida da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco
felipe.alvess@ufpe.br; livia.mariana@ufpe.br

Francisco de Sousa Ramos
Laboratório de Governança, Risco e Conformidade – PIMES/UFPE
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UFPE
Avenida da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco
francisco.ramos@ufpe.br

RESUMO

As avaliações no segmento educacional constituem um desafio devido à complexidade da realidade e do avultado número de critérios a serem considerados. Desse modo, o presente trabalho propõe uma abordagem alternativa para avaliar as instituições de ensino superior brasileiras por meio de um modelo DEA em redes. O modelo proposto contempla dois estágios em paralelo e visa avaliar as atividades de graduação e pós-graduação considerando o compartilhamento de recursos entre essas atividades e variáveis indesejáveis. Uma amostra de 81 universidades públicas foi utilizada para ilustrar o método e os dados correspondem ao ano de 2020. Os resultados indicam que o método auxilia no direcionamento das políticas públicas e no melhor uso dos recursos públicos. Os índices de eficiência da pós-graduação são superiores aos da graduação, demonstrando ao governo que a graduação deve ser o foco no desenvolvimento de estratégias de melhoria do ensino superior. A abordagem proposta fornece novos insights sobre o ensino superior brasileiro e por meio da decomposição de eficiência o tomador de decisão é capaz de identificar a estrutura acadêmica menos eficiente.

PALAVRAS CHAVE. Network data envelopment analysis [NDEA], Eficiência; Ensino superior; universidades brasileiras.

DEA– Análise Envoltória de Dados; AdP&ED – PO na Administração Pública e Educação

ABSTRACT

Evaluations in the educational segment present themselves as a challenge due to the many criteria to be considered. Thus, the present work proposes a new approach to evaluate Brazilian higher education institutions using a DEA model in networks. The proposed model contemplates two steps in parallel and aims to evaluate undergraduate and graduate activities considering the sharing of resources between these activities and undesirable variables. A sample with 81 public universities was used to illustrate the method and the data correspond to the year 2020. The proposed approach provides new insights into Brazilian higher education and through efficiency decomposition, the decision maker can identify the least efficient academic structure, facilitating the development of improvement strategies for each university.

KEYWORDS. Network data envelopment analysis [NDEA], efficiency, higher education, brazilian universities.

DEA– Data Envelopment Analysis; AdP&ED – OR in Public Management and Education

1. Introdução

A educação é importante para todas as esferas da sociedade. Seus benefícios contribuem tanto para o desenvolvimento da sociedade quanto para os indivíduos [Johnes et al. 2017]. Nesse contexto, o ensino superior é considerado um pilar crucial para impulsionar diferentes aspectos do desenvolvimento socioeconômico de um país, de modo que países desenvolvidos possuem uma estreita relação entre a importância do ensino superior e o desenvolvimento econômico [Shamohammadi e Oh 2019].

Uma vez que o crescimento econômico de um país está relacionado com o desempenho de seu sistema educacional, visto que altos níveis de educação estão associados tanto a uma alta taxa de empregabilidade quanto a uma alta renda de pessoas com ensino superior, há um interesse crescente do governo e das Instituições de Ensino Superior (IES) em avaliar a qualidade da educação e a eficiência dos recursos investido na educação [Contreras e Lozano 2020; Moncayo–Martínez et al. 2020].

Diante da importância envolvendo a avaliação do ensino superior, foi criado no Brasil o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES) pela Lei nº. 10.861, de 14 de abril de 2004. O novo sistema visa avaliar de forma integrada as instituições, cursos de graduação e o desempenho dos alunos, através de um conjunto de indicadores de desempenho que avaliam todas as partes do sistema. Entre os indicadores criados no âmbito do SINAES, destaca-se, no ano de 2008, a criação do Índice Geral de Cursos (IGC).

O IGC é construído com base numa média ponderada das notas dos cursos de graduação e pós-graduação de cada instituição. Assim, sintetiza num único indicador a qualidade de todos os cursos de graduação e pós-graduação da mesma instituição de ensino. Diante da sua relevância no contexto nacional, os resultados do IGC são utilizados como instrumento para o ranqueamento das instituições e para o marketing institucional [Mendes e Dutra 2019].

Dada a importância do IGC, sua formulação é foco de debate e criticismo por parte da comunidade acadêmica brasileira. Inicialmente, destaca-se intenso debate principalmente relacionados ao Conceito Preliminar de Curso (CPC) que é um importante indicador para composição do IGC. A principal crítica reside na falta de consenso sobre a atribuição de pesos nos componentes do CPC. Na nota técnica nº 58/2020/CGCQES/DAES, não há justificativa quanto à escolha dos pesos, dando a impressão de que os pesos foram atribuídos subjetivamente. Além do mais, o IGC agrega aspectos relacionados a graduação e pós-graduação em um mesmo indicador, sem considerar as realidades distintas dessas duas estruturas de formação acadêmica para avaliar a qualidade das IES.

Diante desse contexto, uma abordagem que vem sendo constantemente aplicada na avaliação do ensino superior é a Análise Envoltória de Dados (DEA) [Tavares et al. 2021]. Desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes [1978], o DEA tornou-se uma das principais técnicas não paramétricas, com modelos consolidados ao longo dos mais de quarenta anos. O DEA mensura a eficiência relativa de um conjunto de unidades de tomada de decisão (DMUs) com múltiplas entradas (inputs) e saídas (outputs) [Kao 2016]. Uma das vantagens da técnica, é que ela não requer pesos pré-definidos das variáveis no cálculo da eficiência [Ding et al. 2021]. A educação tem sido uma área popular de aplicações da DEA e os idealizadores da técnica a introduziram nesse contexto [Johnes 2015].

No entanto, os modelos DEA tradicionais consideram as DMU's como “caixas pretas” e desconsideram a estrutura interna da DMU, ou seja, eles não avaliam os processos internos nas DMU's [Akbarian 2021]. Para adereçar essa limitação, os modelos *Network Data Envelopment Analysis* consideram a estrutura interna da DMU, permitindo uma análise mais detalhada da DMU [Lozano 2015]. Um dos tipos básicos de estrutura de rede é um sistema paralelo. Ele consiste em um processo de produção ou uma DMU consiste em um conjunto de subunidades atuando em paralelo de forma independente [Du et al. 2015]. Nesse contexto, uma extensão do sistema paralelo considera o compartilhamento de alguns recursos entre os subprocessos [AN et al. 2018].

Diante desse contexto, propõe-se nesse trabalho uma nova modelagem DEA em redes em paralelo com inputs compartilhados e saídas indesejáveis para realizar uma avaliação flexível e adequada do sistema de ensino superior brasileiro. A estrutura proposta contempla dois estágios

em paralelo e visa avaliar de forma independente atividades da graduação e pós-graduação de uma mesma instituição, uma vez que na realidade brasileira essas atividades se desenvolvem de forma paralela.

O presente estudo contribui em duas principais vertentes. No contexto educacional, o método desenvolvido permite abordar e propor soluções para um problema real das IES brasileiras, fornecendo indicadores para as IES e suas respectivas divisões. Além de contribuir para as IES, fornece um panorama nacional da eficiência das atividades de graduação e pós-graduação, permitindo assim ao governo traçar estratégias diretas para melhor alocação de seus recursos. Em relação à DEA, a principal contribuição é a proposição de um modelo capaz de considerar recursos compartilhados em uma estrutura paralela. Identificar a melhor divisão de recursos é fundamental para otimizar a eficiência das respectivas etapas e do sistema.

O texto atual está dividido em cinco seções para melhor compreensão. A primeira apresenta brevemente o contexto de avaliação das IES brasileiras e justifica o desenvolvimento do trabalho. A segunda apresenta uma revisão da literatura sobre as principais aplicações do DEA no âmbito educacional. A terceira detalha o método de pesquisa, enquanto a quarta discute os resultados e a última se concentra nas considerações finais.

2. DEA na Avaliação do Ensino Superior

Existe um número considerável de estudos no âmbito da educação envolvendo DEA, incluindo ensino fundamental e médio, ensino profissional e ensino superior, esses estudos abrangem diversos modelos de ensino, assim como diferentes aspectos administrativos [Johnes 2019]. Os trabalhos de Bessent e Bessent [1980] e Charnes, Cooper e Rhodes [1981] provavelmente correspondem aos estudos seminais nesse segmento.

De acordo com Thanassoulis et al. [2016] esses estudos seminais geraram uma infinidade de aplicações dentro e fora da educação. No contexto do ensino superior, há aplicações na avaliação de universidades [Chen et al. 2021; Nazarko e Saparauskas 2014; Wolszczak-Derlacz e Parteka 2011; Yang et al. 2018], na alocação de recursos [Contreras e Lozano 2020], desempenho de pesquisa [Amara et al. 2020; Ding et al. 2021], departamentos acadêmicos [Agasisti et al. 2012; Chen e Chang 2021; KAO; HUNG, 2008] e cursos de graduação [Szuwarzyński 2021].

A diversidade de estudos envolvendo aplicações do DEA no segmento educacional é corroborado nos surveys de Villano e Tran [2019], Johnes et al. [2017], De Witte e López-Torres [2017] e Thanassoulis et al. [2016]. Esses estudos destacam os diferentes modelos do DEA usados para mensurar a eficiência na educação, bem como suas evoluções nesse ramo literário. Na avaliação do desempenho do ensino superior brasileiro, diversos estudos foram realizados. Podemos citar os estudos de Tavares et al. [2021]; Junior et al. [2020]; Meza et al. [2018]; Oliveira et al. [2014]; Belloni [2000].

Tavares et al. [2021] aplicaram um modelo multi-estágio para avaliar 45 universidades federais. A avaliação considera onze variáveis organizadas em três etapas distintas, que refletem o desempenho das IES em diferentes perspectivas: financeira, nível de graduação e nível de pós-graduação (formação discente e produção científica e inovação). Junior et al. [2020] aplicaram o modelo BCC para avaliar a eficiência dos gastos públicos nas universidades federais entre os anos de 2013 a 2017. Os autores concluíram que algumas universidades federais foram ineficientes nesse período.

Meza et al. [2018] avaliaram os programas de pós-graduação das universidades brasileiras por meio de um modelo em redes. O modelo é dividido em duas etapas, sendo a primeira denominada como produtividade da pesquisa e a segunda qualidade da pesquisa. Oliveira et al. [2014] avaliaram a eficiência das universidades federais no período de 2006 a 2012 por meio do modelo BCC. Os autores utilizaram dez variáveis sendo oito como inputs e duas como outputs. Os resultados constataram que apenas uma instituição alcançou eficiência máxima em todos os anos analisados. Belloni [2000] avaliou o desempenho de universidades federais brasileiras sob o ponto de vista do critério da eficiência produtiva. A metodologia desenvolvida consiste no uso interativo de técnicas estatísticas e DEA e foi testada por meio da construção de um conjunto de indicadores da qualidade da pós-graduação e da pesquisa e um indicador da qualidade da graduação.

Dessa forma, ao revisar a literatura existente, observamos que grande parte dos estudos envolvendo DEA no ensino superior nacional fazem o uso do modelo clássicos da técnica. Apenas dois estudos utilizam os modelos em redes, contudo, esses estudos não consideram o compartilhamento de recursos e a presença de saídas indesejáveis na análise. Portanto, o modelo proposto no presente estudo visa analisar o desempenho das universidades brasileiras a partir das atividades de graduação e pós-graduação com a presença de inputs compartilhados e saídas indesejáveis.

3. Método de Pesquisa

Esta seção detalha a modelagem proposta para avaliar as IES, o modelo NDEA em paralelo desenvolvido para o cálculo da eficiência, as variáveis que serão utilizadas na modelagem, bem como as DMU's selecionadas para o estudo de caso.

3.1 Modelagem NDEA em paralelo com inputs compartilhados

O corrente modelo utiliza algumas considerações propostas por Kao [2009] para propor um modelo capaz de calcular a eficiência global do sistema, bem como as eficiências de suas unidades de produção individuais estruturadas em paralelo. Desse modo, o Modelo 1 estende o modelo de Kao [2009] ao considerar inputs compartilhados por ambos os estágios para calcular os scores de ineficiência relativa de um conjunto de n DMUs.

$$\min \sum_{p=1}^q s_k^p \tag{1.1}$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^P v_s X_{sk} = 1 \tag{1.2}$$

$$\sum_{r \in r^1} u_r Y_{rk}^1 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^1 - \sum_{p=1}^P \alpha_{sk} v_s X_{sk} + s_k^1 = 0, \quad p = 1 \tag{1.3}$$

$$\sum_{r \in r^2} u_r Y_{rk}^2 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^2 - \sum_{p=1}^P (1 - \alpha_{sk}) v_s X_{sk} + s_k^2 = 0, \quad p = 2 \tag{1.4}$$

$$\sum_{r \in r^1} u_r Y_{rk}^1 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^1 - \sum_{p=1}^P \alpha_{sj} v_s X_{sj} \leq 0, \quad p = 1, j = 1, \dots, n, j \neq k \tag{1.5}$$

$$\sum_{r \in r^2} u_r Y_{rk}^2 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^2 - \sum_{p=1}^P (1 - \alpha_{sj}) v_s X_{sj} \leq 0, \quad p = 2, \quad j = 1, \dots, n, j \neq k \tag{1.6}$$

$$L_{pj} \leq \alpha_{pj} \leq U_{pj}, j = 1, \dots, n \tag{1.7}$$

Como observado, o Modelo 1 é não linear, pois existem $\sum_{p=1}^P \alpha_{sk} v_s X_{sk}$ em algumas restrições. Dessa forma, fazendo a substituição de variáveis $\beta_{sk} = v_s \alpha_{sk}$ ($k = 1, \dots, n$), o modelo 1 pode ser convertido no modelo 2.

$$\min \sum_{p=1}^q s_k^p \tag{2.1}$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^P v_s X_{sk} = 1 \tag{2.2}$$

$$\sum_{r \in r^1} u_r Y_{rk}^1 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^1 - \sum_{p=1}^P \beta_{sk} X_{sk} + s_k^1 = 0, \quad p = 1 \quad (2.3)$$

$$\sum_{r \in r^2} u_r Y_{rk}^2 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^2 - \sum_{p=1}^P (1 - \beta_{sk}) v_s X_{sk} + s_k^2 = 0, \quad p = 2 \quad (2.4)$$

$$\sum_{r \in r^1} u_r Y_{rk}^1 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^1 - \sum_{p=1}^P \beta_{sj} X_{sj} \leq 0, \quad p = 1, j = 1, \dots, n, j \neq k \quad (2.5)$$

$$\sum_{r \in r^2} u_r Y_{rk}^2 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^2 - \sum_{p=1}^P (1 - \beta_{sj}) v_s X_{sj} \leq 0, \quad p = 2, j = 1, \dots, n, j \neq k \quad (2.6)$$

$$L_{sj} \leq \beta_{sk} \leq U_{sj}, j = 1, \dots, n$$

Mediante essas modificações o modelo se torna linearizado. Diante disso, a modelagem NDEA proposta contempla uma estrutura de dois estágios em paralelo com inputs compartilhados.

3.2 O caso das atividades de graduação e pós-graduação nas universidades brasileiras

Para o caso das universidades brasileiras, os dois subprocessos correspondem as atividades de graduação e pós-graduação. O primeiro subprocesso se debruça sobre a avaliação das atividades relacionadas a graduação. Paralelamente, o segundo subprocesso avalia as atividades relacionada a pós-graduação. A Figura 1 ilustra a estrutura e as variáveis adotadas para o caso brasileiro.

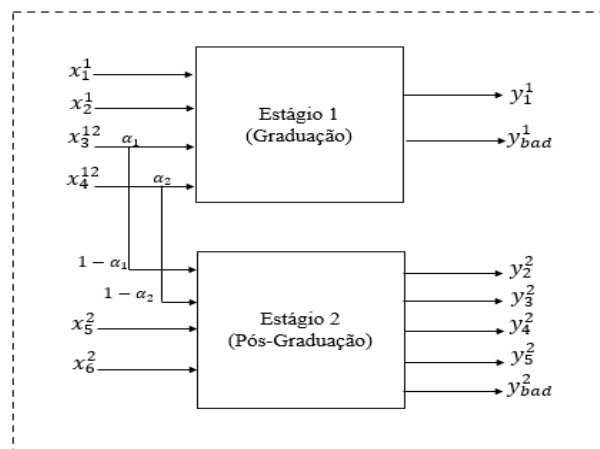


Figura 1- Estrutura proposta do modelo NDEA

A Figura 1 mostra que a primeira etapa é alimentada por variáveis relacionadas aos cursos de graduação (número total de cursos, matrículas, corpo docente e corpo técnico-administrativo) e se desdobra em dois tipos de outputs denominados desejáveis (número total de alunos de graduação em cada IES) e indesejáveis (número de alunos desvinculados e com matrículas trancadas). É importante notar que as variáveis corpo docente (\$x_3^{1,2}\$) e técnico administrativo (\$x_4^{1,2}\$) são compartilhadas entre os cursos de graduação e pós-graduação.

A segunda etapa corresponde à análise da pós-graduação. Para essa avaliação, são considerados o número de programas de pós-graduação oferecidos por cada instituição e o número de matrículas, além das variáveis compartilhadas com a etapa da graduação para investigar o número de concluintes (representado pelo número de dissertações e teses defendidas), os resultados da produção científica (publicações em periódicos e patentes produzidas) e o número de alunos evadidos da pós-graduação (saída indesejável).

Mediante a constatação do panorama dessas instituições em relação a disponibilidade de informações a respeito da graduação e pós-graduação, foram coletados dados referentes a 103 universidades públicas. Entretanto, 23 instituições foram excluídas da amostra por falta de dados em algumas variáveis detalhadas na Tabela 2. Portanto, a amostra final é composta por 81 IES, sendo 54 universidades federais, 24 estaduais e 3 regionais. A Tabela 1 detalha as variáveis ilustradas na Figura 2 e sua estatística descritiva. Essas variáveis visam retratar adequadamente o sistema de ensino superior brasileiro e foram selecionadas por meio de uma pesquisa bibliográfica considerando estudos nacionais e internacionais no contexto da avaliação de desempenho no ensino superior.

Tabela 2 – Estatística Descritiva das Variáveis

Estágio	Variáveis	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Graduação	Qnt. Cursos (x_1^1)	86,03	47,52	271	16
	Qnt. Matrículas (x_2^1)	17156,78	11481,14	64276	966
	Qnt. Concluintes (y_2^1)	1822,76	1391,57	8062	186
	Qnt. Evadidos (y_{baa}^1)	4987,20	6440,16	39519	241
Graduação/ Pós-Graduação	Qnt. Docentes (x_3^{12})	2519,61	2070,62	13830	558
	Qnt. Técnicos Adm (x_4^{12})	1557,51	1423,41	9333	86
Pós-Graduação	Qnt. Programas (x_5^2)	40,85	37,72	260	5
	Qnt. Matrículas (x_6^2)	2939,75	3612,52	23948	218
	Qnt. Dissertações (y_2^2)	517,68	489,28	2836	48
	Qnt. Tese (y_3^2)	204,34	308,14	2037	1
	Qnt. Publicações (y_4^2)	3308,85	4041,93	29071	257
	Qnt. Patentes (y_5^2)	44,30	52,49	217	1
	Qnt. Evadidos (y_{baa}^2)	88,85	99,92	548	5

Os dados utilizados foram coletados do Censo da Educação Superior disponível no site do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), responsável por realizar avaliações anuais do ensino superior e pelo site da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) responsável por avaliar a pós-graduação no Brasil. Os dados utilizados correspondem a 2020, pois representa a avaliação mais recente da pós-graduação brasileira realizada pela CAPES.

4 Análise de Eficiência

De acordo com o modelo 2 discutido na seção 3.1, é necessário definir os parâmetros α relacionados aos insumos compartilhados entre os estágios. Desse modo, definiu-se um limite para distribuição do α_1 e α_2 entre 40% e 60% relacionados aos docentes e técnicos administrativos respectivamente. Para essa definição, utilizou-se como parâmetro a proporção de docente vinculados a graduação e a proporção de docentes vinculados a pós-graduação, além da quantidade de técnicos administrativos relacionados a cada universidade.

Assim, a Tabela 2 apresenta o ranking das DMU's de acordo com a eficiência global, a folga obtida através do Modelo 2, as eficiências dos estágios e suas respectivas folgas, além das proporções de insumos compartilhados. Em média, a eficiência global correspondeu a 86,2%. Para a graduação, o valor médio verificado foi de 60,7% e para a pós-graduação o valor foi de 86,5%. Desse modo, verifica-se que o desempenho da pós-graduação é superior ao da graduação e esse resultado indica que o governo brasileiro precisa priorizar a graduação perante o desenvolvimento de estratégias para melhorar a qualidade do ensino superior.

Tabela 2 – Resultados do Modelo NDEA em paralelo

DMU	Ranking (E)	Eficiência Geral (E)	Sk	Eficiência Graduação (E1)	Sk ¹	Eficiência pós-graduação (E2)	Sk ²	α_1	α_2
UNIFEI	1	1	0	1	0	1	0	0,6	0,4
UNICENTRO	1	1	0	1	0	1	0	0,6	0,4
UFCSPA	3	0,9991	0,0009	0,8977	0,0009	1	0	0,6	0,4
UFGD	4	0,9991	0,0009	1	0	0,8211	0,0009	0,6	0,569
UFPI	5	0,9989	0,0011	1	0	0,8756	0,0011	0,6	0,578
UFABC	6	0,9987	0,0013	1	0	0,7899	0,0013	0,4	0,4
UEPB	7	0,9987	0,0013	1	0	0,8130	0,0013	0,4	0,4
UFAM	8	0,9975	0,0025	1	0	0,7019	0,0025	0,6	0,6
UFRGS	9	0,9975	0,0025	1	0	0,9270	0,0025	0,4	0,6
UERN	10	0,9935	0,0065	0,5746	0,0065	1	0	0,6	0,4
UENF	11	0,9934	0,0066	0,2168	0,0066	1	0	0,4	0,6
UNICAMP	12	0,9926	0,0074	0,8873	0,0074	1	0	0,6	0,4
UESB	13	0,9916	0,0084	0,3272	0,0084	1	0	0,4	0,4
UFMG	14	0,9910	0,0090	0,9654	0,0090	1	0	0,4	0,4
UFSJ	15	0,9906	0,0094	0,7050	0,0094	1	0	0,6	0,6
URCA	16	0,9906	0,0094	0,3530	0,0094	1	0	0,6	0,6
UFERSA	17	0,9901	0,0099	0,3614	0,0099	1	0	0,4	0,4
UEM	18	0,9879	0,0121	0,5399	0,0121	1	0	0,6	0,6
UFV	19	0,9850	0,0150	0,3793	0,0150	1	0	0,6	0,6
UFCG	20	0,9842	0,0158	0,4316	0,0158	1	0	0,4	0,4
UFRPE	21	0,9788	0,0212	0,4001	0,0141	0,9927	0,0071	0,6	0,6
UNESP	22	0,9756	0,0244	0,5801	0,0244	1	0	0,4	0,4
UNITAU	23	0,9756	0,0244	1	0	0,8975	0,0244	0,6	0,6
UFT	24	0,9712	0,0288	0,9168	0,0288	1	0	0,6	0,4
UFU	25	0,9673	0,0327	0,1751	0,0293	0,9965	0,0034	0,6	0,6
UFMT	26	0,9637	0,0363	0,2690	0,0243	0,9877	0,0120	0,6	0,4
UFPEL	27	0,9619	0,0381	0,4436	0,0160	0,9775	0,0221	0,6	0,4
UEL	28	0,9614	0,0386	0,8074	0,0386	1	0	0,6	0,495
UNB	29	0,9548	0,0452	0,4622	0,0336	0,9880	0,0115	0,6	0,6
UFF	30	0,9501	0,0499	0,9548	0,0446	0,8449	0,0054	0,4	0,4
UFSCAR	31	0,9485	0,0515	0,7872	0,0115	0,9583	0,0400	0,6	0,4
UFMS	32	0,9467	0,0533	0,4618	0,0187	0,9645	0,0346	0,6	0,4
USP	33	0,9446	0,0554	0,8330	0,0368	0,9777	0,0186	0,6	0,453
UEPG	34	0,9006	0,0994	0,5678	0,0111	0,9108	0,0882	0,6	0,4
UENP	35	0,8935	0,1065	0,6418	0,0026	0,8954	0,1039	0,6	0,4
UFPE	36	0,8904	0,1096	0,7370	0,0287	0,9111	0,0810	0,6	0,6
UNIFAP	37	0,8878	0,1122	1	0	0,8444	0,1122	0,6	0,4
UFPR	38	0,8654	0,1346	0,3805	0,0306	0,8927	0,1039	0,6	0,6
UFAL	39	0,8649	0,1351	0,3687	0,0234	0,8849	0,1117	0,6	0,4
FURB	40	0,8649	0,1351	0,7148	0,0028	0,8667	0,1323	0,6	0,6
UPE	41	0,8643	0,1357	0,3617	0,0190	0,8812	0,1167	0,6	0,4
UEMG	42	0,8582	0,1418	1	0	0,5578	0,1418	0,6	0,6
UNIMONTES	43	0,8514	0,1486	0,4496	0,0088	0,8587	0,1397	0,6	0,4
UNIOESTE	44	0,8457	0,1543	0,3019	0,0146	0,8583	0,1397	0,6	0,4
UFLA	45	0,8453	0,1547	0,8452	0,1543	0,9530	0,0004	0,4	0,4
UFSC	46	0,8429	0,1571	0,6450	0,0317	0,8646	0,1254	0,4	0,4
UEG	47	0,8289	0,1711	0,5713	0,0119	0,8369	0,1592	0,4	0,4
UEFS	48	0,8265	0,1735	0,7178	0,0057	0,8295	0,1679	0,6	0,4
UFJF	49	0,8260	0,1740	0,6088	0,0239	0,8416	0,1501	0,4	0,4
UFVJM	50	0,8254	0,1746	0,5490	0,0070	0,8306	0,1676	0,6	0,6
UFES	51	0,8235	0,1765	0,8032	0,0633	0,8692	0,1132	0,6	0,4

UFPB	52	0,8195	0,1805	0,2454	0,0375	0,8514	0,1430	0,4	0,4
UNIRIO	53	0,8172	0,1828	0,3214	0,0173	0,8311	0,1655	0,4	0,4
UFRRJ	54	0,8152	0,1848	0,5767	0,0285	0,8336	0,1564	0,6	0,4
UDESC	55	0,8114	0,1886	0,4874	0,0102	0,8190	0,1785	0,6	0,4
UEA	56	0,7988	0,2012	0,3391	0,0151	0,8101	0,1861	0,4	0,6
UNIFESP	57	0,7966	0,2034	0,7691	0,0298	0,8034	0,1736	0,6	0,4
UFS	58	0,7952	0,2048	0,6170	0,1201	0,9127	0,0847	0,4	0,4
FURG	59	0,7949	0,2051	0,4327	0,0101	0,8027	0,1951	0,6	0,6
UFC	60	0,7921	0,2079	0,4661	0,0280	0,8135	0,1799	0,6	0,4
UFG	61	0,7914	0,2086	0,5061	0,0183	0,8050	0,1903	0,6	0,4
UFTM	62	0,7882	0,2118	0,4479	0,0070	0,7936	0,2048	0,6	0,6
UECE	63	0,7805	0,2195	0,7317	0,1419	0,9041	0,0776	0,6	0,4
UERJ	64	0,7787	0,2213	0,7054	0,0283	0,7893	0,1930	0,6	0,4
UFRJ	65	0,7698	0,2302	0,6565	0,0606	0,8014	0,1696	0,4	0,4
UFOP	66	0,7696	0,2304	0,7788	0,1797	0,8735	0,0507	0,4	0,4
UFSM	67	0,7693	0,2307	0,7473	0,1020	0,8466	0,1287	0,6	0,4
UFMA	68	0,7501	0,2499	0,6579	0,0536	0,7782	0,1963	0,6	0,6
UNIFAL-MG	69	0,7418	0,2582	0,7469	0,0885	0,8078	0,1698	0,6	0,6
UFRN	70	0,7395	0,2605	0,4453	0,0279	0,7591	0,2326	0,6	0,6
UTFPR	71	0,7351	0,2649	0,3220	0,0345	0,7602	0,2304	0,6	0,6
UFAC	72	0,7305	0,2695	0,3914	0,0102	0,7374	0,2593	0,4	0,4
UESC	73	0,7255	0,2745	0,3630	0,0082	0,7316	0,2663	0,6	0,4
UFBA	74	0,6885	0,3115	0,4857	0,0486	0,7154	0,2629	0,6	0,6
UFPA	75	0,6843	0,3157	0,6287	0,1672	0,8446	0,1485	0,6	0,4
UNIPAMPA	76	0,6377	0,3623	0,3562	0,0112	0,6440	0,3512	0,6	0,6
UFOPA	77	0,6344	0,3656	0,3725	0,0075	0,6387	0,3582	0,6	0,549
UEMA	78	0,6220	0,3780	0,3259	0,0201	0,6325	0,3580	0,6	0,571
UFRR	79	0,5793	0,4207	0,2903	0,0074	0,5832	0,4133	0,6	0,6
UNIR	80	0,5541	0,4459	0,6689	0,1509	0,7016	0,2950	0,6	0,6
UFRB	81	0,5166	0,4834	0,3204	0,0106	0,5214	0,4728	0,6	0,4

Inicialmente, verifica-se que dentre as 81 universidades analisadas, apenas UNIFEI e UNICENTRO são globalmente eficientes o que representa 2,47 % da amostra. Em relação a UNIFEI, apesar de ser uma universidade com a segunda menor quantidade de docentes e com o sexto menor valor de cursos da graduação entre as universidades investigadas, o número de concluintes da graduação é bem superior ao apresentado pela UFU (25° lugar no ranking global), que tem uma quantidade de cursos e de matrículas de graduação quase três vezes maior que a UNIFEI, além de um número de docentes ser quase seis vezes superior. Outro ponto positivo dessa universidade é o total de patentes produzidas, visto que apesar de apresentar apenas o 20° menor número de programas e o 23° menor quantidade de matrículas na pós-graduação, consegue gerar um total de patentes maior do que a UERJ (64° lugar no ranking), que possui quantidade de programas quatro vezes maior e um número de matrículas de pós-graduação quase sete vezes maior que a UNIFEI.

Por outro lado, observa-se que a UFRB apresentou o pior desempenho global do conjunto investigado, seguido pela UNIR. No caso da UFRB, o baixo desempenho é consequência do menor índice de eficiência na pós-graduação entre as universidades analisadas. A baixa quantidade de artigos produzidos (quarto menor da amostra), de teses e de dissertações defendidas (quinto e sexto menor valor respectivamente) justificam essa colocação. Além disso, seu desempenho ruim é corroborado pelo sétimo pior desempenho na graduação atrelado ao número considerável de alunos evadidos e a baixa quantidade de alunos concluintes em relação ao total de cursos e matrículas.

Verifica-se que na graduação 11 universidades são eficientes o que corresponde a 13,58% da amostra, enquanto na pós-graduação 17 universidades são eficientes o que representa 20,99% da amostra. Logo, os resultados demonstraram que existe ampla margem para melhoria nos dois segmentos.

Esses resultados levantam também a discussão quanto ao atual modelo utilizado para avaliar a graduação e a pós-graduação. Uma análise inicial aparenta sugerir que a abordagem utilizada pela CAPES para avaliar os cursos de pós-graduação e seus sucessivos aperfeiçoamentos tem estimulado o desempenho e propiciado melhores resultados. Por exemplo, na graduação existem 34 DMUs com scores de eficiência inferior a 50%, enquanto na pós-graduação todos as DMUs obtiveram índice de eficiência superior a 50%.

A discussão aqui apresentada corrobora a hipótese inicial dos autores de que a atual construção do IGC é deficiente pois não indica diretamente onde cada universidade precisa melhorar dedicar seus esforços. Por exemplo, apesar de em média a pós-graduação performar melhor que a graduação, isso não é válido para todas as DMUs, como é o caso por exemplo da UFGD. Os resultados da modelagem proposta permitem que cada IES identifique rapidamente onde devem direcionar esforços para obter um melhor resultado global.

Ao analisar os coeficientes de distribuição de insumos verificamos que para 60 universidades o modelo aloca 60% da mão de obra relacionada aos docentes (α_1) as atividades de graduação, enquanto 40% dessa mão de obra é alocada as atividades de pós-graduação. Por outro lado, em relação a mão de obra vinculada aos técnicos administrativos (α_2), para 48 universidades o modelo aloca 60% as atividades de pós-graduação, enquanto 40 % são distribuídos para as atividades de graduação. Desse modo, através do modelo foi possível verificar que para a maioria das universidades que compõe a amostra é necessária uma maior de obra vinculada aos docentes as atividades de graduação enquanto na pós-graduação é necessária uma maior quantidade de técnicos administrativos.

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre as eficiências globais da graduação e pós-graduação de universidades localizadas em diferentes regiões. A hipótese nula é que a mediana de eficiência é igual entre as universidades localizadas nas cinco regiões do país. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis

	E (Global)	E₁ (Graduação)	E₂ (Pós-graduação)
Qui-quadrado	6,6006	7,1655	7,2297
Df	4	4	4
Valor P	0,1586	0,1274	0,1242

Para um nível de significância de 0,05, o resultado do teste de Kruskal-Wallis indica que a hipótese nula não pode ser rejeitada. Logo, não é possível afirmar que há diferenças significativas na mediana da eficiência geral, bem como na graduação e na pós-graduação quando se considera a sua localização geográfica.

5 Conclusão

O presente estudo delineou um novo procedimento para avaliar as instituições de ensino superior brasileiras com um modelo DEA em redes em paralelo com recursos compartilhados e saídas indesejáveis. O modelo proposto possui dois estágios e visa avaliar as atividades de graduação e pós-graduação de uma mesma instituição de forma paralela, considerando o compartilhamento de recursos entre essas atividades e variáveis que não agregam valor ao desempenho dessas instituições. A utilização de um modelo em redes possibilita obter novas métricas de avaliação, tais como o desempenho da universidade, da graduação e da pós-graduação, sendo útil para os gestores identificar as fontes de ineficiência das instituições e qual dimensão acadêmica impactou mais no seu desempenho, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de melhorias. Portanto, a intenção é apresentar novos insights sobre a qualidade do ensino superior brasileiro facilitando o desenvolvimento de políticas específicas para cada universidade de acordo com os resultados dos estágios individuais. A modelagem desenvolvida consiste em uma adaptação do modelo do Kao [2009] ao considerar o compartilhamento de inputs entre estágios, proporcionando uma nova modelagem para literatura DEA no contexto de avaliação do ensino superior.

A abordagem proposta foi aplicada para avaliar 81 universidades públicas brasileiras e os dados utilizados referem-se ao ano de 2020. Os resultados do modelo demonstraram um desempenho médio global de 86,2% e indicaram um desempenho superior da pós-graduação em relação a graduação com média de eficiência de 86,5% contra 60,7%. Dessa forma, a partir desses resultados, nota-se que a graduação deve ser o foco de estratégias de melhoria por parte dos gestores para que se possa alcançar um equilíbrio entre o desempenho dessas duas atividades e consequentemente impulsionar o desempenho da instituição.

São sugeridos alguns desenvolvimentos como forma de expandir o método desenvolvido. Inicialmente, as variáveis financeiras não foram incluídas no modelo. Essa questão é fundamental para que as universidades possam ser avaliadas considerando o uso de recursos públicos. Quanto à modelagem, uma direção para estudos futuros seria estendê-la para outras bases matemáticas, como a SBM, direcional ou dinâmica.

Referências

- Agasisti, Tommaso *et al.* (2012). Evaluating the performance of academic departments: an analysis of research-related output efficiency. *Research Evaluation*, 21:2–14.
- Akbarian, Dariush (2021). Network DEA based on DEA-ratio. *Financial Innovation*, 7.
- Amara, Nabil; Rhaiem, Mehdi; Halilem, Norrin (2020). Assessing the research efficiency of Canadian scholars in the management field: Evidence from the DEA and fsQCA. *Journal of Business Research*, 115:296–306.
- An, Qingxian *et al.* (2018). Efficiency evaluation of parallel interdependent processes systems: an application to Chinese 985 Project universities. *International Journal of Production Research*, 57:5387–5399.
- Belloni, José Angelo (2000). *Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de universidades federais brasileiras*. 2000. 245 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78457>. Acesso em: 25 jul. 2022.
- Bessent, Authella M.; BESSENT, E. Wailand (1980). Determining the Comparative Efficiency of Schools through Data Envelopment Analysis, 16:57–75.
- Brasil. Lei n. 10.861, DE 14 DE ABRIL DE 2004. Institui o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – SINAES e dá outras providências. Brasília, 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.861.htm. Acessado: 25 jul. 2022.
- Charnes, A.; Cooper, W. W.; Rhodes, E. (1981). Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through, 27:668–697.
- Charnes, A; Cooper, W W; Rhodes, E. (1978). Short communication: Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 3:339.
- Chen, Ya *et al* (2021). Operating efficiency in Chinese universities: An extended two-stage network DEA approach. *Journal of Management Science and Engineering*, 6:482–498.
- Chen, Shih-Pin; Chang, Chung-Wei. (2021). Measuring the efficiency of university departments: an empirical study using data envelopment analysis and cluster analysis. *Scientometrics*, 126:5263–5284.
- Contreras, Ignacio; Lozano, Sebastián. (2020). Allocating additional resources to public universities. A DEA bargaining approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71: 100752.
- De Witte, Kristof; López-Torres, Laura. (2017). Efficiency in education: a review of literature and a way forward. *Journal of the Operational Research Society*, 68: 339–363.
- Ding, Tao *et al.* (2021). Research performance evaluation of Chinese university: A non-

homogeneous network DEA approach. *Journal of Management Science and Engineering*, 6: 467–481.

Du, Juan; Chen, yao; Huo, Jiazhen. (2015). DEA for non-homogenous parallel networks. *Omega*, 56:122–132.

INEP. NOTA TÉCNICA N° 59/2020/CGCQES/DAES. Cálculo do IGC. Brasília, 2020.

Disponível em:

https://download.inep.gov.br/educacao_superior/enade/notas_tecnicas/2019/NOTA_TECNICA_N_59-2020_CGCQES-DAES_Metodologia_de_calculo_do_IGC_2019.pdf. Acessado: 2 fev. 2022.

Johnes, Jill (2015). Operational Research in education. *European Journal of Operational Research*, 243:683–696.

Johnes, Jill; Portela, Maria; Thanassoulis, Emmanuel (2017). Efficiency in education. *Journal of the Operational Research Society*, 4:331–338.

Junior, David Daniel Hammes; Flach, Leonardo; Mattos, Luísa Karam de (2020). The efficiency of public expenditure on Higher Education: a study with Brazilian Federal Universities*. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 28:1076–1097.

Kao, Chiang (2016). Efficiency decomposition and aggregation in network data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 255:778–786.

Kao, Chiang (2009). Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research*, 196:1107–1112.

Kao, Chiang; Hung, Hsi Tai (2008). Efficiency analysis of university departments: An empirical study. *Omega*, 36: 653–664.

Lozano, Sebastián (2015). Alternative SBM Model for Network DEA. *Computers and Industrial Engineering*, 82:33–40.

Mendes, Ana Luíza Fernandes; Dutra, Norivan Lustosa Lisboa (2019). Índice geral de cursos e qualidade na educação superior: o caso das IES do Estado da Bahia. *Revista da Avaliação da Educação Superior*, 24:189–212.

Meza, Lidia Angulo *et al.* (2018). Evaluation of post-graduate programs using a network data envelopment analysis model. *DYNA*, 805:83–90.

Moncayo–Martínez, Luis A.; Ramírez–Nafarrate, Adrián; Hernández–Balderrama, María Guadalupe (2020). Evaluation of public HEI on teaching, research, and knowledge dissemination by Data Envelopment Analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69:100718.

Nazarko, Joanicjusz; Sapauskas, Jonas (2014). Application of DEA method in efficiency evaluation of public higher education institutions. *Technological and Economic Development of Economy*, 20:25–44.

Oliveira, Andre *et al.* (2014). Programa reuni nas instituições de ensino superior federal (ifes] brasileiras: Um estudo da eficiência operacional por meio da análise envoltória de dados (dea] no período de 2006 a 2012. *RACE, Revista de Administração, Contabilidade e Economia*, 13:1179–1210.

Shamohammadi, Mehdi; Oh, Dong hyun (2019). Measuring the efficiency changes of private universities of Korea: A two-stage network data envelopment analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 148:119730.

Szuwarzyński, Andrzej (2021). Efficiency evaluation of graduation process in Australian public universities. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*.

Tavares, Rafael Santos; Angulo-Meza, Lidia; Sant’anna, Annibal Parracho (2021). A proposed

multistage evaluation approach for Higher Education Institutions based on network Data envelopment analysis: A Brazilian experience. *Evaluation and Program Planning*, 89:101984.

Thanassoulis, Emmanuel *et al.* (2016). Applications of data envelopment analysis in education. *International Series in Operations Research and Management Science*, 238:367–438.

Villano, Renato A.; Tran, Carolyn Dung T.T. Survey on technical efficiency in higher education: A meta-fractional regression analysis. *Pacific Economic Review*, 26:110–135.

Wolszczak-Derlacz, Joanna; Parteka, Aleksandra (2011). Efficiency of European public higher education institutions: a two-stage multicountry approach. *Scientometrics*, 89: 887.

Yang, Guo liang; Fukuyama, Hirofumi; Song, Yao yao (2018). Measuring the inefficiency of Chinese research universities based on a two-stage network DEA model. *Journal of Informetrics*, 12:10–30.