

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS: CONCEITOS, METODOLOGIA E ESTUDO DA ARTE NA EDUCAÇÃO SUPERIOR

FRANK LEONARDO CASADO¹

Resumo

Esta pesquisa procura realizar uma revisão de literatura, de modo a obter um referencial histórico da metodologia de avaliação da produtividade, eficiência e sua evolução para a metodologia de Análise Envoltória de Dados- DEA como ferramenta da avaliação da educação superior. No Brasil, os primeiros trabalhos utilizando a técnica DEA na construção de medidas de avaliação de IES têm origem em grupos de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A DEA, sendo assim, é uma técnica não-paramétrica que emprega programação matemática para construir fronteiras de produção de unidades produtivas – DMUs que empregam processos tecnológicos semelhantes para transformar múltiplos insumos em múltiplos produtos. Tais fronteiras são empregadas para avaliar a eficiência relativa dos planos de operação executados pelas DMUs e servem, também, como referência para o estabelecimento de metas eficientes para cada unidade produtiva. A DEA foi desenvolvida para avaliar a eficiência de organizações cujas atividades não visam lucros ou para as quais não existem preços pré-fixados para todos os insumos e/ou todos os produtos. Por estes motivos esta técnica é uma alternativa no estudo da eficiência das instituições superiores.

Palavras chaves: Análise Envoltória de Dados; Avaliação Institucional; Produtividade e Eficiência.

Abstract

This research seeks to carry through a literature review, in order to get a historical reference of the methodology of evaluation of the productivity, efficiency and its evolution for the methodology of Data Envelopment Analysis - DEA, as tool for the evaluation of the superior education. In Brazil, the first works using DEA technique in the construction of measures of IES evaluation were originated in research groups from the Federal University of Santa Catarina (UFSC). The DEA, then, is a not-parametric technique that uses mathematical programming to construct borders of production of

productive units - DMUs that use similar technological processes to transform multiple input into multiple products. Such borders are used to evaluate the relative efficiency of the plans of operation executed by the DMUs and serve, also, as reference for the establishment of efficient goals for each productive unit. The DEA was developed to evaluate the efficiency of organizations whose activities do not aim for profits or for which there are no settled prices for the input and/or all the products. For these reasons this technique is an alternative in the study of the efficiency of the superior institutions.

Key words: Data Envelopment Analysis; Institutional evaluation; Productivity and efficiency.

1 - Introdução

A literatura sobre a avaliação de universidades no Brasil está carente de modelos quantitativos de avaliação da eficiência produtiva que contemplem os múltiplos fatores envolvidos na atividade universitária e considerem os princípios e as características norteadoras da avaliação institucional. A busca de “... outras informações e indicadores que permitam análises mais aprofundadas de cada uma das dimensões e aspectos de atividade institucional” (MEC/PAIUB, 1994:15) expressa no documento original do PAIUB (Programa de Avaliação Institucional das Universidades Brasileiras), permanece atual: “A disponibilidade de um conjunto confiável de indicadores para as universidades tende a ser um produto em crescente demanda, tanto pela

¹ Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Santa Maria

própria universidade, como pela Sociedade e pelo Estado” (Schwartzman, J. 1997:149).

No entanto, grandes esforços têm sido dedicados ao estudo de formas de mensurar e fazer análises da eficiência de empresas privadas e de instituições públicas. Desde a década de cinquenta, a partir dos trabalhos de Koopmans (1951), Farrel (1957) e Debreu (1951), técnicas não-paramétricas vêm sendo utilizadas para avaliar se um plano de operação é eficiente. Mas foi a partir da década de setenta que houve grande progresso na aplicação dessas técnicas, visto que, sob o prisma gerencial, os seus resultados revelaram-se mais expressivos que aqueles obtidos através da abordagem paramétrica tradicional. Assim, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) generalizaram os estudos de Farrel tanto no sentido de trabalhar com múltiplos recursos e múltiplos resultados, quanto na obtenção de um indicador que atendesse ao conceito de eficiência de Koopmans. Essa generalização deu origem a uma técnica de construção de fronteiras de produção e indicadores da eficiência produtiva conhecida como Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA).

A Análise Envoltória de Dados – DEA é uma técnica não-paramétrica que emprega programação matemática para construir fronteiras de produção de unidades produtivas – DMUs que empregam processos tecnológicos semelhantes para transformar múltiplos insumos em múltiplos produtos. Tais fronteiras são empregadas para avaliar a eficiência relativa dos planos de operação executados pelas DMUs e servem, também, como referência para o estabelecimento de metas eficientes para cada unidade produtiva. DEA foi desenvolvida para avaliar a eficiência de organizações cujas atividades não visam lucros ou para as quais não existem preços pré-fixados para todos os insumos e/ou todos os produtos.

No Brasil, os primeiros trabalhos utilizando a técnica DEA na construção de medidas de avaliação de IES têm origem em grupos de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Destacando-se trabalhos como de Belloni (2000)

que em sua tese de doutorado, construiu uma metodologia DEA na avaliação da eficiência produtiva de Universidades Federais Brasileiras.

No entanto, esses trabalhos têm como objeto de estudo setores isolados de uma IES (departamentos, cursos, unidades acadêmicas, etc). Neste sentido, é relevante um levantamento de um referencial metodológico próprio para as Instituições de Ensino Superior que contemple o estudo de indicadores da eficiência produtiva buscando, através deste levantamento, observar os diversos trabalhos e experiências alcançados no processo de avaliação da eficiência e produtividade de Instituições de Ensino Superior e poder construir futuramente, através desta ferramenta estatística, uma maior abrangência desta metodologia na avaliação global das Instituições Públicas de Ensino Superior.

O objetivo desta pesquisa é realizar uma revisão de literatura, de modo a obter um referencial histórico da metodologia de avaliação da produtividade, eficiência e sua evolução para a metodologia de Análise Envoltória de Dados como ferramenta da avaliação da educação superior; com o objetivo de estudar a viabilidade do uso desta metodologia na mensuração da eficiência e produtividade na educação superior.

A metodologia para o desenvolvimento desta pesquisa será realizada por meio da análise de textos clássicos e atuais sobre a metodologia DEA, de forma a se obter o estado da arte deste assunto. Tratando-se assim de uma pesquisa bibliográfica (Gil, 1991) deverá responder às seguintes questões: quem já escreveu e o que já foi publicado sobre o assunto, que aspectos já foram abordados, quais as lacunas existentes na literatura.

Para tanto o trabalho encontra-se dividido quatro partes. Explora-se na primeira parte, algumas considerações acerca da questão de eficiência e produtividade, seus principais conceitos e debates acadêmicos atuais. Na segunda parte, tem-se o levantamento do debate sobre a avaliação da efici-

ência nas Instituições de Ensino Superior e as principais metodologias e correntes teóricas utilizadas nessas avaliações. Na terceira parte há o estudo da arte da metodologia de Análise Envoltória de Dados e sua aplicação no Ensino Superior, dando ênfase à aplicação em universidades brasileiras; e logo após, o estudo da metodologia clássica e suas principais pressuposições. E na última parte as considerações finais.

2 - Considerações sobre eficiência e produtividade

A grande maioria dos trabalhos em economia faz uso de regressão por mínimos quadrados ordinários, e suas variantes, para medir eficiência de empreendimentos. Essa abordagem traça o melhor ajuste aos dados (Coelli, 1995), ou seja, é uma função de médias. Uma outra possibilidade para medir eficiência de unidades produtivas é usar fronteiras de produção. Estimar fronteiras de produção, ao invés de funções de médias, tem as seguintes vantagens, conforme Gomes et al. (2001):

Reflete a tecnologia usada, já que a estimativa de uma fronteira de produção é influenciada pelas unidades de melhor desempenho dentro da amostra de unidades analisada, enquanto que as funções de médias fornecem a forma da tecnologia de uma unidade média;

A função de produção representa as melhores práticas e, assim, as eficiências das unidades podem ser medidas.

Sendo assim, os modelos de Análise de Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA), aqui detalhados, estão inseridos nesse último contexto, já que são modelos de avaliação de eficiência.

A eficiência técnica, então, é um critério que permite comparar o desempenho de unidades de produção pertencentes a ambientes institucionais diferentes. As instituições públicas perseguem objetivos diferentes aos de uma instituição privada cuja busca essencial é o lucro. Portanto, o campo da eficiência técnica é um campo comum

para se estabelecer comparações entre instituições de diferentes naturezas, (Lovell e Schmidt, 1993).

Conforme Belloni (2000), a eficiência na produção pode ser analisada sob dois pontos de vista: da eficiência produtiva e da eficiência alocativa. A eficiência produtiva, componente físico que se refere à habilidade de evitar desperdícios produzindo tantos resultados quanto os recursos utilizados permitirem ou utilizando o mínimo possível de recursos para aquela produção. Assim, a avaliação da eficiência produtiva pode ser orientada para o crescimento da produção, que visa ao aumento dos níveis de produção mantidas as quantidades de recursos; ou orientada para a economia de recursos, que busca a redução dos recursos utilizados mantendo-se os níveis de produção; ou orientada para alguma combinação desses dois objetivos. Em todos os casos, o objetivo é obter ganhos de produtividade através da eliminação das fontes de ineficiência.

O segundo ponto de vista corresponde à eficiência alocativa e se refere à habilidade de combinar recursos e resultados em proporções ótimas dados os preços vigentes. A inexistência de qualquer tipo de relação de preços entre os resultados da atividade acadêmica inviabiliza a avaliação da eficiência alocativa de uma empresa pública.

Estudos de avaliação da eficiência produtiva têm sua origem nos trabalhos de T.C. Koopmans e G. Debreu (Färe, Grosskopf e Lovell, 1994). Koopmans (1951, apud Färe, Grosskopf e Lovell, 1994) assim definiu eficiência produtiva:

...um produtor é eficiente quando um aumento na produção de qualquer dos resultados exige uma redução em pelo menos um outro resultado ou um acréscimo no consumo de pelo menos um dos recursos, e, quando a redução do consumo de qualquer recurso exige um acréscimo no consumo de pelo menos um outro recurso ou a redução na produção de pelo menos um dos resultados.

Debreu (1951, apud Färe, Grosskopf e Lovell, 1994), ao determinar o seu “coeficiente de utilização de recursos”, estabeleceu o primeiro indicador de eficiência produtiva conhecido. Orientado para a minimização do consumo de recursos, esse coeficiente consiste na redução equiproporcional máxima possível em todos os recursos, mantida a produção da mesma quantidade de (um único) resultado. Essa definição induz um conceito de eficiência diferente daquele de Koopmans. Assim, Debreu postulou que um produtor é eficiente no consumo de recursos quando não é possível gerar a mesma produção com um consumo equiproporcionalmente menor. De modo análogo, um produtor é eficiente na produção de resultados quando não é possível, com as mesmas quantidades de recursos, gerar uma produção equiproporcionalmente maior.

Indicadores de eficiência radiais (equiproporcionais) semelhantes ao de Debreu têm a vantagem de serem independentes das unidades de medidas das variáveis e, portanto, independem do conhecimento de preços de mercado. Por conseguinte, esses indicadores são apropriados para avaliar a eficiência produtiva de universidades.

Farrel (1957) estendeu o trabalho iniciado por Debreu e desenvolveu um procedimento para calcular o indicador de eficiência produtiva de Debreu. Farrel restringiu suas análises e cálculos à eficiência produtiva com um único resultado, embora tivesse formulado o problema para o caso com múltiplos resultados.

Os trabalhos de Koopmans, Debreu e Farrel foram redescobertos na década de setenta, não só pelos economistas, mas, também, como tema de interesse da Pesquisa Operacional (Färe, Grosskopf e Lovell, 1994). Charnes, Cooper e Rhodes (1978) generalizaram os estudos de Farrel tanto no sentido de trabalhar com múltiplos recursos e múltiplos resultados, quanto na obtenção de um indicador que atendesse ao conceito de eficiência de Koopmans. Essa generalização deu origem a uma técnica de

construção de fronteiras de produção e indicadores da eficiência produtiva conhecida como Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA).

Essa técnica permite decompor a eficiência produtiva em dois componentes: a eficiência de escala, associada a variações da produtividade decorrentes de mudanças na escala de produção, e a eficiência técnica, associada à habilidade gerencial da organização (Banker, Charnes e Cooper, 1984). A importância da decomposição da eficiência resulta da capacidade de mensurar, para as universidades ineficientes, as magnitudes desses dois componentes da eficiência produtiva e, portanto, as suas importâncias relativas, possibilitando estimar o impacto de ações corretivas na redução das ineficiências.

3 - Considerações sobre avaliação de eficiência nas instituições de Ensino Superior

As novas experiências de ensino são normalmente avaliadas de forma subjetiva e pelos que as propuseram. Não há procedimentos claros e aceitos de transformação dos princípios e características que devem nortear a avaliação institucional e o desenvolvimento dos seus procedimentos avaliativos e características em critérios de avaliação.

Segundo Freitas e Silveira (1997): não se discute mais se a avaliação institucional deve ou não ser feita, mas, como fazê-la, ou seja, qual a metodologia que conduzirá a maior qualidade e eficiência.

O Documento Básico do PAIUB, quando define o objetivo geral da avaliação institucional, apresenta a avaliação do desempenho como um instrumento para a melhoria da qualidade, MEC/PAIUB (1994)

Lapa e Neiva (1996) e Belloni (2000) classificam os critérios mais usuais de avaliação em dois grandes grupos: os ligados à idéia de desempenho (aí considerados, produtividade, eficiência, eficácia e efetividade) e aqueles ligados à idéia de qualidade (utilidade e relevância).

O desempenho organizacional considera referências e valores internos à instituição de ensino. Para Belloni (2000), na avaliação do desempenho organizacional, o observador deve colocar-se dentro da organização universitária e considerar os recursos e os procedimentos utilizados, os resultados alcançados, as metas estabelecidas e a missão definida pela instituição, ou seja, a percepção que a própria instituição tem das demandas político-culturais.

Em resumo, conforme os critérios de avaliação institucional mais comumente encontrados na literatura podem ser classificados em dois grupos: · os instrumentais, que tratam do desempenho organizacional; e os substantivos, que tratam da qualidade institucional.

Belloni (2000) destaca que o desempenho de uma Instituição de Ensino Superior está relacionado com a forma como a instituição se organiza para atender às necessidades da sociedade. A perspectiva da avaliação do desempenho é, portanto, organizacional, com referências internas, julgando a “organização universidade” através de critérios relativos à missão institucional, objetivos, programas e metas, recursos, resultados e todas as relações de gestão e produção que ocorrem no seu interior. Decorrem daí três dimensões distintas da avaliação do desempenho de uma universidade definidas por três diferentes maneiras de observar o objeto:

- Dimensão técnico-operacional, que procura conhecer os recursos, os resultados e as relações de produção que ocorrem no interior da universidade, e cujos critérios de avaliação são a produtividade e a eficiência;
- Dimensão pedagógica, que está relacionada com os processos educacionais propriamente ditos, tem como referência os objetivos e as metas organizacionais, cujo critério de avaliação é a eficácia;
- Dimensão política, que busca aferir em que medida a instituição consegue responder aos desafios que lhe são impostos, em termos do cumprimento da missão institucional. O critério de avaliação é a efetividade. (Belloni, 2000, p. 32-33)

No entanto, a efetividade nem sempre é vista como um critério de avaliação do desempenho, já que está associada às necessidades e aos objetivos políticos da sociedade. Sua classificação como critério de desempenho pressupõe que tais necessidades e objetivos estejam refletidos na missão institucional que constitui, assim, referência (interna) para a avaliação da efetividade. Uma visão mais restritiva, que não incorpora a efetividade como critério de desempenho, é dada por Lindsay (1982) que descreve o conceito de “desempenho institucional” somente com as dimensões da eficácia e da eficiência. Eficácia, relacionada com a extensão com que as metas e objetivos são alcançados, e eficiência, que diz respeito às relações entre recursos utilizados e resultados alcançados.

Assim, para Lindsay, para mensurar a efetividade é necessário que se conheçam a missão e os objetivos institucionais e sua relação com os recursos disponíveis, com os processos acadêmicos utilizados e com os resultados alcançados.

A avaliação da eficácia, enquanto critério associado à dimensão pedagógica, se dá pela confrontação dos processos acadêmicos utilizados e dos resultados alcançados com as metas e os objetivos relativos a toda atividade de ensino, pesquisa e extensão desenvolvida. Pressupõe que estejam explicitados os projetos pedagógicos, os currículos de cursos e programas, as políticas de pesquisa e de extensão e demais documentos que definem as metas e objetivos das atividades acadêmicas, e suas relações com os resultados alcançados.

Os procedimentos de avaliação da eficiência de uma IES baseiam-se em informações relativas aos recursos utilizados e aos resultados alcançados pela instituição sob análise e por um conjunto de instituições similares tomadas como referências. São informações existentes nos sistemas acadêmico e contábil das universidades e, em geral, disponíveis em publicações oficiais.

O enfoque utilizado pelas pesquisas recentes, têm-se restringindo à avaliação do desempenho sob o ponto de vista técnico-

operacional através dos critérios de eficiência e produtividade, destacando-se trabalhos como de Belloni (2000), Façanha Rezende e Marinho (1997); Lopes (1998); Nunes (1998); Marinho (1996).

4 - Análise envoltória de dados - Metodologia e Estudo da Arte na Educação Superior

No Brasil, os trabalhos que utilizam a técnica DEA na construção de medidas de avaliação de IES ainda é recorrente, carecendo de maiores discussões e aplicações na avaliação do ensino.

4.1 - DEA – Estado da Arte

Desde o final da década de setenta, a técnica conhecida como Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA) vem sendo utilizada na avaliação da eficiência produtiva de unidades educacionais. A própria origem da DEA localiza-se em um trabalho voltado para a avaliação da eficiência de programas escolares especiais no Estado do Texas – USA (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978). A técnica DEA verifica se cada unidade opera de maneira adequada ou não, relativamente a um elenco específico de recursos utilizados e de resultados obtidos, em comparação com unidades consideradas similares por seus administradores, sem a necessidade de conhecer a priori qualquer relação de importância (pesos) entre as variáveis consideradas.

Sendo assim, no campo da Análise Envoltória de Dados a obra seminal é “*Measuring the efficiency of decision making units*” Abraham Charnes, William W. Cooper and Edwardo Rhodes (CCR) de 1978 (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) que deram início ao estudo da abordagem não-paramétrica, para a análise de eficiência relativa de firmas com múltiplos insumos e múltiplos produtos, cunhando o termo Data Envelopment Analysis (DEA). Vale ressaltar que, na literatura relacionada aos modelos DEA, uma firma é tratada como DMU (*decision making unit*- unidade tomadora de

decisão), uma vez que estes modelos provêm uma medida para avaliar a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão.

A DEA foi desenvolvida para determinar a eficiência de unidades produtivas, onde não seja relevante ou não se deseje considerar o aspecto financeiro. Dispensa-se, assim, a conversão de todos os insumos e produtos em unidades monetárias e sua atualização para valores presentes.

Os principais objetivos da DEA, podem ser resumidos, conforme Gomes, *et al.* (2001):

- Comparar um certo número de DMUs que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de inputs que consomem e de outputs que produzem;
- Identificar as DMUs eficientes, medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes (piecewise linear frontier), que fornece o benchmark (referência) para as DMUs ineficientes. Ao identificar as origens e quantidades de ineficiência relativas de cada uma das DMUs, é possível analisar qualquer de suas dimensões relativas a entradas e/ou saídas. A fronteira de eficiência compreende o conjunto de DMUs Pareto eficientes;
- Determinar a eficiência relativa das DMUs, contemplando cada uma, relativamente a todas as outras que compõem o grupo a ser estudado. Assim, sob determinadas condições, DEA pode ser usado na problemática da ordenação como ferramenta multicritério de apoio à decisão;
- Subsidiar estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUs avaliadas, corrigindo as ineficientes através da determinação de alvos;
- Estabelecer taxas de substituição entre as entradas, entre as saídas e entre entradas e saídas, permitindo a tomada de decisões gerenciais. O estabelecimento dessas taxas de substituição nem sempre tem solução única;
- Considerar a possibilidade de os outliers não representarem apenas desvios em relação ao comportamento “médio”, mas possíveis benchmarks a serem analisados pelas demais DMUs. Os outliers podem

representar as melhores práticas dentro do universo investigado;
 Não necessidade de determinar uma forma funcional para a estimativa da fronteira, como é feito nos modelos de fronteiras estocástica.

A literatura internacional disponibiliza, ainda, de um número significativo de aplicações DEA na área da educação e, em particular, na avaliação de IES (Rhodes, 1978; Ahn, 1987; Ahn and Seiford, 1993; Harrison, 1988; Johnes e Johnes, 1993; Johnes, Taylor e Francis, 1993; Glass, McKillop e Hyndman, 1995).

No Brasil, os primeiros trabalhos utilizando a técnica DEA na construção de medidas de avaliação de IES têm origem em grupos de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Alguns desses trabalhos pioneiros são: Lopes, Lapa e Lanzer (1995, 1995a e 1996); Lapa, Lopes e Lanzer (1995); e Cury (1995).

Alguns trabalhos desenvolvidos na Universidade Federal do Rio de Janeiro combinam DEA com a Análise em Componentes Principais. Marinho (1996) utilizou DEA para avaliar e ordenar as unidades acadêmicas da Universidade Federal do Rio de Janeiro, tendo a distribuição de recursos como objetivo. A escolha das variáveis foi arbitrária, utilizando como resultados o número de formados nos três níveis de ensino (Graduação, Mestrado e Doutorado) e os conceitos emitidos pela CAPES para os cursos de Pós-Graduação, e, como recursos, o número de docentes distribuídos conforme a titulação, o número de funcionários, o número de matrículas nos três níveis de ensino, a carga horária total dos docentes e os recursos financeiros provisionados a cada centro. O autor estendeu o modelo para o conjunto das IFES através de dois procedimentos: i) aplicando DEA “aos percentuais de inputs e outputs de cada instituição ou aos seus respectivos correspondentes financeiros”, e, ii) aplicando DEA a um conjunto de variáveis transformadas obtidas com o uso de Análise Fatorial, conforme Façanha Rezende e Marinho (1997). A utilização da

Análise Fatorial foi justificada com o objetivo de redução do número de variáveis. Em ambos os casos o autor concluiu com a geração de um ranking de universidades a partir das medidas de eficiência relativa obtidas.

Em Lapa, Belloni e Neiva (1997), DEA é utilizada na avaliação das unidades acadêmicas da Universidade do Estado de Santa Catarina. O trabalho tem um caráter de divulgação do uso de DEA e compara seus resultados com os tradicionais indicadores de produtividade parcial. Lopes (1998), em sua tese de doutorado, utiliza DEA na construção de um procedimento de avaliação cruzada para estimar medidas difusas da produtividade parcial e da qualidade de departamentos de uma IES. Nunes (1998) propôs a utilização de DEA na avaliação da produção científica dos departamentos de uma IES.

Esses trabalhos têm como objeto de estudo setores de uma IES (unidades, departamentos, cursos) e a natureza relativa das medidas DEA não possibilitam uma análise global da instituição.

Por se tratar de um método não-estocástico, a fronteira gerada pela DEA é suscetível a erros de medida e ao questionamento das propriedades estatísticas de seus resultados. Uma boa discussão das alternativas de superação dessa problemática está em Banker (1993). As possibilidades de combinação da DEA com outras metodologias aparecem em Marinho (1996). Em Thanassoulis (1993), encontra-se uma extensa lista, ilustrada com aplicação, das vantagens e desvantagens da análise de envoltória de dados em relação aos modelos de regressão.

4.2- Análise Envoltória de Dados

A pressuposição fundamental na técnica DEA é que, se uma dada DMU “A” é capaz de produzir $Y(A)$ unidades de produto, utilizando $X(A)$ unidades de insumos, então outras DMU’s poderiam também fazer o mesmo, caso elas estejam operando eficientemente. De forma similar, se uma

DMU “B” é capaz de produzir $Y(B)$ unidades de produto, utilizando $X(B)$ de insumos, então outras DMU’s poderiam ser capazes de realizar o mesmo esquema de produção. Caso as DMU’s “A” e “B” sejam eficientes, elas poderiam ser combinadas para formar uma DMU composta, isto é, que utiliza uma combinação de insumos para produzir uma combinação de produtos. Desde que esta DMU composta não necessariamente existe, ela é denominada DMU virtual. A análise DEA consiste em encontrar a melhor DMU virtual para cada DMU da amostra. Caso a DMU virtual seja melhor do que a DMU original, ou por produzir mais com a mesma quantidade de insumos, ou produzir a mesma quantidade usando menos insumos, a DMU original será ineficiente.

Percebe-se, portanto, que a fronteira eficiente de produção será aquela que representa as unidades avaliadas que conseguem maximizar o uso dos inputs na produção de outputs ou, ainda, consegue produzir uma quantidade maior de outputs com uma quantidade menor de inputs.

Quando da aplicação dos modelos DEA, deve-se fazer uma opção: usar um modelo orientado a outputs, no qual se obtém o máximo nível de outputs mantendo os inputs fixos, ou um modelo orientado a inputs, que visa a obter um menor uso de inputs dado o nível dos outputs. A decisão de usar um ou outro modelo deve ser previamente selecionada pelo pesquisador.

Resumidamente, os modelos básicos existentes são: CCR - insumo orientado, CCR - produto orientado, BCC - insumo orientado e BCC - produto orientado. Esses quatro modelos estão descritos detalhadamente em Fried et al. (1993) e Charnes et al. (1994).

4.2.1 Modelo CCR

O modelo CCR original, apresentado por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978, foi concebido inicialmente como um modelo orientado à entrada (*input*) e trabalha com retorno constante de escala (CRS), isto é, qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas

(*outputs*)”. Segundo Biondi Neto (2001, p. 51):

A característica essencial do modelo CCR é a redução de múltiplos produtos e múltiplos insumos (para cada DMU) para um único produto ‘virtual’ e um único insumo ‘virtual’. Para uma DMU, a razão entre esse produto virtual e o insumo virtual fornece uma medida de eficiência que é função dos multiplicadores. Essa proporção, que será maximizada, forma a função-objetivo para a DMU “O” sendo avaliada. (Charnes et al,1996, p. 40).

A eficiência técnica de uma DMU observada (DMU O) será obtida através de um PPNL (Problema de Programação Não-Linear), utilizando o seguinte modelo de programação fracionário:

$$Máxh_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{i0}} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{ik}} \leq 1, k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$u_i, v_i \geq \forall j, i \quad (3)$$

onde:

h_0 = eficiência da DMU O (zero)

r = quantidade total de *inputs*

s = quantidade total de *outputs*

n = quantidade total de DMU

Y_{jk} = quantidade de *output* j para a DMU k

X_{ik} = quantidade de *input* i para a DMU k

u_j = peso referente ao *input* j

v_i = peso referente ao *input* i

Y_{j0} = quantidade de *output* j para a DMU0 (DMU observada)

X_{i0} = quantidade de *input* i para a DMU0 (DMU observada)

Uma variação do modelo CCR originou o modelo de Programação Linear conhecido como modelo dos multiplicadores, que surgiu da necessidade de determinar os valores dos pesos u_j e v_i de forma a maximizar a soma ponderada dos *outputs* (*output* “virtual”) dividida pela soma ponderada dos *inputs* (*input* “virtual”) da DMU em estudo (Lins e Ângulo-Meza, 2000, p. 11).

Esse procedimento deverá ser repetido para cada DMU analisada e através dos valores encontrados para os pesos (multiplicadores), determina-se o valor das eficiências relativas de cada DMU. O modelo dos multiplicadores será apresentado a seguir:

$$\text{Máx } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j Y_{j0} \quad (4)$$

sujeito a:

$$\text{Máx } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j Y_{j0} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i X_{ik} \leq 0, k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$u_j, v_i \geq 0 \forall j, i \quad (7)$$

Segundo Biondi Neto (2001, p. 58):

É possível derivar o dual do modelo dos multiplicadores (primal). Assim, o dual apresentará uma menor quantidade de restrições ($s + r < n + 1$), pois o modelo

DEA exige que o número de DMUs seja maior que o número de variáveis. Pelas razões expostas e por ter solução computacional mais simples, o modelo dual, denominado Envelope, tem preferência sobre o dos Multiplicadores.

Assim o modelo do Envelope tem a seguinte formulação:

$$\text{Min } \theta \quad (8)$$

sujeito a:

$$-Y_{j0} + \sum_{k=1}^n Y_{jk} \lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, s \quad (9)$$

$$\theta X_{i0} - \sum_{k=1}^n X_{ik} \lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r \quad (10)$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad (11)$$

4.2.2 Modelo BCC

O modelo BCC, elaborado por Banker, Charnes e Cooper em 1984, utiliza o retorno variável de escala (VRS), procurando, assim, evitar problemas existentes em situações de competição imperfeita. O BCC (VRS) é usado quando ocorrem Retornos Variáveis de Escala, sejam eles crescentes ou decrescentes ou mesmo constantes. No modelo BCC (VRS), os escores de eficiência dependem da orientação escolhida. Caso se pretenda maximizar h_1 , a formulação do modelo BCC é a seguinte:

$$\text{Maximize } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + w \quad (12)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} \leq 1 \quad (13)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + w \leq 0, \text{ para todo } j=1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$-u_r \leq -e, r = 1, 2, \dots, s \quad (15)$$

$$-v_i \leq -e, i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

A forma dual do BCC, visando a minimizar h_0 será dada pela formulação a seguir:

$$\text{Minimize } h_0 = \theta - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r - \varepsilon \sum_{i=1}^m e_i \quad (17)$$

sujeito a:

$$X_{i0}\theta - e_i - \sum_{j=1}^n X_{ij}\lambda_j = 0, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

$$-s_r + \varepsilon \sum_{j=1}^n Y_{rj}\lambda_j = Y_{r0}, \text{ para todo } r = 1, 2, \dots, s \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (20)$$

$$\lambda_j > 0, \text{ para todo } j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

$$s_r > 0, \text{ para todo } r = 1, 2, \dots, s \quad (22)$$

$$e_i > 0, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

Por meio da utilização desses modelos, é possível detectar a eficiência das DMUs, construindo, assim, a fronteira de produção com as unidades que atingirem o máximo de produtividade (*benchmarks*).

4.2.3 Ilustração da Fronteira Eficiente em DEA

A Figura 1 ilustra uma situação que envolve um insumo e um produto. Pode-se traçar as fronteiras eficientes calculadas pela DEA, isto é, a fronteira obtida com retornos constantes (CCR), e a obtida com retornos variáveis (BCC).

Considerando-se o ponto P, na Figura 1, na pressuposição de retornos constantes, a ineficiência técnica do ponto P é dada pela distância PPc, enquanto a ineficiência técnica, para retornos variáveis, é dada pela distância PPv. E a diferença entre essas duas, PcPv, fornece a ineficiência de escala.

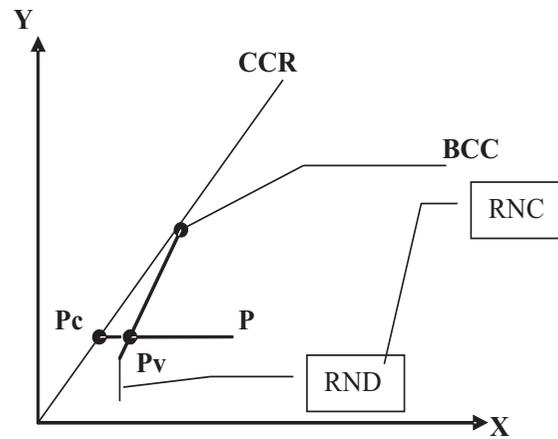


Figura 1 – Eficiência Técnica e Eficiência de Escala

Assim, além de identificar as DMUs eficientes, os modelos DEA permitem medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes, que fornece o *benchmark* para as DMUs ineficientes. Esse *benchmark* é determinado pela projeção das DMUs ineficientes na fronteira de eficiência. A forma como é feita esta projeção determina orientação do modelo: orientação a *inputs* (quando se deseja minimizar os *inputs*, mantendo os valores dos *outputs* constantes) e orientação a *outputs* (quando se deseja maximizar os resultados sem diminuir os recursos).

Contudo, se a medida de eficiência de escala for igual a um, a firma estará operando com retornos constantes à escala; no entanto, se for menor que um, poderão ocorrer retornos crescentes ou decrescentes. Para contornar essa situação, é necessário formular outro problema de programação, impondo a pressuposição de retornos não crescentes ou não decrescentes. Considerando-se o caso de retornos não crescentes, a formulação consiste em alterar a pressuposição de retornos variáveis no modelo DEA. Para isso, basta substituir a restrição,

$$N_1' \lambda = 1$$

em (20), pela restrição $N_1' \lambda \leq 1$

Sendo assim, a fronteira obtida para o modelo com retornos não crescentes (RNC) está indicada na Figura 1. Para o caso de retornos não decrescentes (RND), segue o mesmo raciocínio.

5 - Conclusão

A Análise Envoltória de Dados, que é um método de suporte básico da Metodologia do Modelo de Avaliação, é uma técnica determinística e não-paramétrica que mede eficiência relativa de observações homogêneas.

A característica de agregar variáveis e indicadores de avaliação sem exigir que sejam conhecidos pesos relativos entre eles credencia a técnica DEA a ser utilizada no tratamento da informação coletada nos processos de avaliação interna desenvolvidos pelas Universidades Brasileiras. Pesquisas nessa direção podem explorar diversos critérios de avaliação como, por exemplo, identificar indicadores da eficácia dos processos de ensino e aprendizagem a partir da informação da avaliação de cursos em uma universidade.

Sendo assim, no que diz respeito à possível aplicação da DEA, é importante notar as possibilidades de exploração das virtudes da metodologia como mecanismo permanente de avaliação comparativa de eficiência. Entre outras razões, porque a técnica possui características positivas de neutralidade, incentiva a construção e o aprimoramento de inventários de recursos e também acolhe participações possíveis e desejáveis de gestores e de agentes na avaliação. Essa participação é fundamental para a qualificação e para a determinação de caminhos possíveis para a fronteira de eficiência e para fins de monitoramento de objetivos.

No entanto, observa-se que muitos trabalhos utilizando esta metodologia têm como objeto de estudo setores isolados de uma IES (departamentos, cursos, unidades acadêmicas, etc). Neste sentido, é relevante a construção, através do DEA, de uma ferramenta capaz de se obter uma maior abrangência na avaliação global de uma Instituição de Ensino Superior em particular, no caso da Universidade Federal de Santa Maria.

Cabe destacar, ainda, a importância da utilização desta metodologia conjuntamente

te com as iniciativas de avaliação da qualidade de atividades específicas já existentes, tais como a avaliação da Pós-Graduação pela CAPES, o cadastro de pesquisadores do CNPq, os Exames Nacionais de Cursos, a avaliação das condições de oferta de cursos de graduação e as avaliações de cursos realizadas pelas comissões de especialistas da SESU/MEC.

Referências bibliográficas

- AHN, T.S. **Efficiency and related issues in higher education: a Data Envelopment Analysis approach**. Austin, 1987. Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin.
- AHN, T.S.; SEIFORD, L.M. Sensitivity of DEA to models and variable sets in a hypothesis test setting: the efficiency of university operations. In: YUJI IJIRI (ed.), **Creative and innovative approaches to the science of management**. New York, Quorum Books, 1993.
- ANDIFES. **Uma proposta de avaliação das Instituições de Ensino Superior**. Florianópolis, ANDIFES, 1993.
- ANDIFES. **Matriz de alocação para as IFES**. Brasília, ANDIFES, 1994.
- BANKER, R.D. **Maximum likelihood, consistency and DEA: a statistical foundation**. *Management Science*, v.39, n.10, p. 1265-1273, 1993.
- BANKER, R.D.; CHARNES A.; COOPER, W.W. Some models for estimation technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9):1078-1092, 1984.
- BELLONI, I. **Uma Metodologia de Avaliação da Eficiência Produtiva de Universidades Federais Brasileiras**. Tese de Doutorado, UFSC, 2000.
- BIONDI NETO, Luiz. **Neuro – DEA: Nova Metodologia para Determinação da Eficiência Relativa de Unidades Tomadoras de Decisão**. Rio de Janeiro, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, 2(6),429-444, 1978.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W. Preface to topics in Data Envelopment Analysis. **Annals of Operations Research**, 2, 59-94, 1985.
- CHARNES, A.; et al. **Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications**. USA, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- _____. **Data envelopment analysis: theory, methodology and application**. Second print. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- COELLI, T.J. Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. **Australian Journal of Agricultural Economics**, v.39, n.3, p.219-245, 1995.
- CURY, K.R.S. **Análise Envoltória de dados aplicada à avaliação da pós-graduação das universidades federais**. XXVII SBPO, Vitória, 1995.
- DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, **Journal of the Econometric Society**, v.19, no 3, 1951.
- FAÇANHA, L.O.; REZENDE, M.; MARI-NHO, A. **Brazilian Federal Universities: relative evaluation and Envelopment Analysis**. UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.
- FÄRE, R.; GROSSKOPE, S.; LOVELL, C.A.K. **Production frontiers**. New York, Cambridge University, 1994.
- FARREL, M.J. The measurement of productive efficiency. **J. Royal Statistical Society**, v. 120, Part III, 253-290, 1957.
- FREITAS, I.M.A.C.; SILVEIRA, A. **Avaliação da Educação Superior**. Florianópolis, Insular, 1997.
- FRIED, H.; LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, S.S. (eds). **The measurement of productive efficiency**. New York: Oxford University, 1993.
- GLASS, J.C.; MACKILLOP, D.G.; HYNDMANN, N. Efficiency in the provision of university teaching on research: an empirical analysis of UK Universities. **Journal of Applied Econometrics**, v.10, 61-72, 1995.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.
- GOMES, E.G.; et al. Avaliação de eficiência de companhias aéreas brasileiras: uma abordagem por Análise de Envoltória de Dados. IN: SETTI, J.R.A.; LIMA HARRISON, M.E. **Measuring the comparative technical efficiency of universities**. Ph D. Dissertation, The University of North Carolina at Chaper Hill, 1988.
- JOHNES, G.; JOHNES, J. Measuring the research performance of UK Economics Departments: An Application of Data Envelopment Analysis. **Oxford Economic Paper**, 45; 332-347, 1993.
- JOHNES, J.; TAYLOR, J.; FRANCIS, B. The research performance of UK Universities: a statistical analysis of the results of the 1989 Research Selectivity Exercise. **J.R. Statistical Society**, 156. Part2, 271-286,1993.
- JÚNIOR, O.F. (eds). **Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001**, v.2, 2001^a, p.125-133.
- KOOPMANS, T. C. Efficient allocation of resources. *Econometrica*, v.19, no.1, october 1951.
- LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Metodologia científica**. São Paulo, Atlas, 1986.
- LAPA, J.S.; BELLONI, J.A.; NEIVA, C.C. **Medidas de desempenho de universidades acadêmicas de uma Instituição de Ensino Superior**. Relatório Técnico- Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSC (mimeo), 1997.
- LAPA, J.S, LOPES, A.L.M e LANZER,E. **Análise Envoltória de Dados aplicada à avaliação de IES: determinação dos pesos relativos e valoração dos insumos e produtos**. XXVII SBPO, Vitória, 1995.

- LAPA, J.S.; NEIVA, C.C. Avaliação em educação: comentários sobre desempenho e qualidade. *Ensaio*, v. 4, nº 12 (jul./set. 1996), 213-236, 1996.
- LINDSAY, A.W. Institutional performance in higher education: the efficiency dimension. *Review of Educational Research*, 52(2), 1982, 175-199.
- LINS, M.P.E.; ANGULO-MEZA, L. **Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: Editora da COPPE/UFRJ, 2000.
- LOPES, A.L.M., LAPA, J.S. e LANZER, E. **Eficiência produtiva em serviços governamentais: o caso das universidades federais brasileiras**. First International Congress of Industrial Engineering e XV Congresso Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, 1995.
- _____. **Eficiência produtiva nas universidades federais: o que indicam os indicadores do MEC? XXVII SBPO**, Vitória, 1995a.
- _____. **Análise Envoltória de dados: uma nova ferramenta para a avaliação multidimensional do setor de serviços**. XX ENAMPAD, Angra dos Reis, 1996.
- LOPES, A.L.M. **Avaliação cruzada da produtividade e qualidade de departamentos acadêmicos de uma universidade com um modelo de Análise Envoltória de Dados e Conjuntos Difusos**. Florianópolis, 1998. Tese de Doutorado, UFSC, 1998.
- LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, S.S. (eds.), **The measurement of productive efficiency**. New York, Oxford University, 1993.
- MARINHO, A. Metodologias para avaliação e ordenação de universidades públicas: o caso da UFRJ e demais IFES. *Ensaio*, v. 4, nº 13 (out/dez. 1996), 403-424, 1996
- MEC/PAIUB. **Programa de Avaliação Institucional das Universidades Brasileiras**. Brasília, MEC, 1994.
- _____. _____. Brasília, MEC, 1998.
- NEIVA, C.C., LAPA, J.S. e BELLONI, J.A. **Exame Nacional de Cursos: Um Processo Necessário que precisa ser aprimorado**. Sociedade Brasileira de Desenvolvimento de Educação, 1998.
- NUNES, N. **Avaliação da eficiência produtiva de departamentos universitários: uma aplicação de Análise Envoltória de Dados**. Florianópolis, 1998. Dissertação de Mestrado, UFSC.
- RHODES, E.L. **Data Envelopment Analysis and approaches for measuring the efficiency of decision making units with an application to program followthrough in U.S. education**. Ph.D. Dissertation, Carnegie Mellon University, 1978.
- SCHWARTZMAN, J. Um sistema de indicadores para as universidades brasileiras. In: SGUISSARDI, V. (org.), **Avaliação Universitária em Questão**. Campinas, Autores Associados, 1997.
- THANASSOULIS, E. A comparison of regression analysis and data envelopment analysis as alternative methods for performance assessments. *Journal of Operational Research Society*, v. 44, n. 11, p. 1.128-1.144, 1993.