



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.  
ISBN 85-7515-371-4

## **FERRAMENTA PARA CALCULAR A EFICIÊNCIA: UM PROCEDIMENTO PARA ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO**

**Mariana R. Almeida** – almeidamariana@yahoo.com

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), Departamento de Engenharia de Produção  
Endereço Avenida Trabalhador Saocarlense, 400.

CEP: 13566-590– São Carlos - SP

**Enzo B. Mariano** – enzo@gmail.com

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), Departamento de Engenharia de Produção  
Endereço Avenida Trabalhador Saocarlense, 400.

CEP: 13566-590– São Carlos - SP

**Daisy A. N. Rebelatto** – daisy@prod.eesc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), Departamento de Engenharia de Produção  
Endereço Avenida Trabalhador Saocarlense, 400.

CEP: 13566-590– São Carlos - SP

**Resumo:** *As ferramentas para cálculo de eficiência têm apresentado sensível evolução nos últimos tempos, resultado da demanda - tanto privada como pública - de instrumentos que permitam melhoria de desempenho. A “Análise por Envoltória de Dados” é uma das principais técnicas, de acordo com a literatura internacional e nacional, para realizar esse procedimento, elaborada para definir uma fronteira formada pela conexão dos melhores desempenhos, dentre as unidades analisadas. O presente artigo apresenta essa ferramenta a partir dos principais conceitos envolvidos e das principais áreas e setores onde já foi aplicada. Além disso, descreve as etapas de procedimento necessárias para aplicação, a partir do software Frontier Analyst. A partir disso, a grande relevância desta pesquisa é ensinar novos pesquisadores como utilizar essa ferramenta para avaliar a eficiência dos processos produtivos.*

**Palavras-chaves:** *Eficiência, Análise por Envoltória de Dados e Frontier Analyst.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A globalização, cuja marca é a expansão mundial, reflete um conjunto de transformações na ordem política e econômica das nações. O fenômeno causa a interligação acelerada entre os mercados, representando um desafio para os países na busca por competitividade para suas empresas. Com isso, as empresas adotam como objetivo essencial um bom índice de eficiência por meio da otimização dos recursos utilizados na função produção.

Nesse sentido, o ensino teórico das universidades precisa estar alinhado com as necessidades de mercado. Assim, um dos tópicos de maior relevância, atualmente, no mercado, é busca pela maximização da eficiência nas operações. Com isso, a Engenharia de Produção lança luzes sobre avaliar a eficiência dos recursos sob a ótica de sistemas.

Na esteira de avaliar sistemas, é necessário identificar quais variáveis apresentam uma maior importância no sistema produtivo. A literatura define que as variáveis que compõem essa ótica de sistemas são os *inputs* e *outputs*. Com base nas variáveis, a avaliação permite obter informações para serem adotadas como referência. Logo, esse procedimento de avaliação é realizado quando compara com outras unidades produtivas. Com isso, as empresas podem implementar um *benchmarking* nos processos produtivos visando melhorar suas taxas de eficiências. Desse modo, os gestores precisam adotar técnicas para avaliar a eficiência e auxiliar o processo de tomada de decisão.

As técnicas para avaliar a eficiência podem ser paramétricas ou não-paramétricas (SOARES DE MELLO, 2005). Para subsidiar as tomadas de decisões, as principais técnicas disponibilizadas na literatura são: (a) a fronteira estocástica, (b) o índice malmquist; e (c) análise por envoltória de dados. Cada técnica disponibilizada na literatura apresenta modelos matemáticos distintos e cada um desses modelos necessita de ferramentas para auxiliar no procedimento dos cálculos matemáticos. Portanto, este trabalho tem como objetivo detalhar quais são os procedimentos necessários para ensinar sobre a ferramenta *Frontier Analyst*.

## 2. CONCEITOS BÁSICOS PARA ESSE TIPO DE ENSINO

O ensino sobre técnicas de eficiências requer que os alunos apresentem conceitos prévios sobre eficiência, produtividade e *Benchmarking*. Para tanto, é necessário definir e distinguir cada conceito.

- **Produtividade**

Soares Mello *et al.* (2005) conceituam a produtividade como a razão entre o que foi produzido e o que foi gasto para produzir. Outra definição para auxiliar nesse conceito, segundo Heizer e Hender (2001), a produtividade pode ser conceituada a relação entre a quantidade de bens ou serviços gerados (saídas) e a quantidade de recursos consumidos para gerá-los (entradas) num mesmo período de tempo (*t*).

- **Eficiência**

A eficiência é a comparação dos resultados alcançados com os recursos utilizados. Quanto mais resultados obtidos para uma determinada quantidade de recursos disponíveis maior a eficiência organizacional. Soares Mello *et al.* (2005) conceituam que a eficiência compara o que foi produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

- ***Benchmarking***

O *Benchmarking* pode ser definido como um processo contínuo e sistemático utilizado para investigar o resultado (em termos de eficiência e eficácia) de unidades com processos e técnicas comuns de gestão (LINDAU *et al.*, 2001). Assim, o *benchmarking* é um parâmetro de comparação entre o desempenho de empresas, processos, produtos, serviços e práticas (CAMP, 1993; CAMP, 1998; SPENDOLINI, 1993). Além disso, de acordo com Camp (1998), o *benchmarking* identifica os processos, práticas, métodos gerenciais para

avaliar um ambiente competitivo, sendo assim continuamente monitoradas para garantir a descoberta das melhores práticas exercidas por outras empresas.

A partir desses conceitos, o aluno apresenta noções básicas para compreender o modelo matemático denominado por Análise por Envoltória de Dados (DEA). Para isso, a “Figura 1” ilustra as etapas (ou fases) que um modelo matemático deve contemplar. Com isso, o próximo tópico descreve com mais detalhes os conceitos dessa técnica de eficiência.

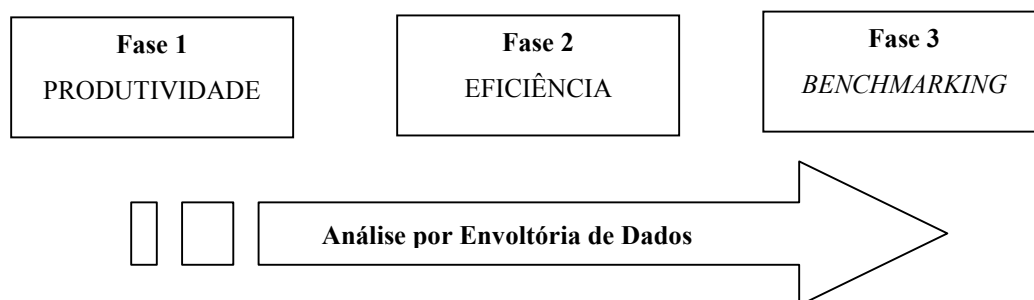


Figura 1 – Etapas do modelo matemático

### 3. ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise por Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica baseada em programação linear, com o objetivo de medir o desempenho de unidades operacionais ou tomadoras de decisão (DMUs), quando a presença de múltiplas entradas e múltiplas saídas torna difícil realizar uma comparação (VILELA, 2004).

Essa técnica foi desenvolvida por Charnes *et al.* (1978) com base nos conceitos de eficiência de Debreu (1951) e Farrell (1957). Análise por Envoltória de Dados tem a característica de comparar as unidades para determinar a eficiência técnica para cada unidade avaliada. O objetivo da técnica DEA é construir um conjunto de referência convexo e as DMUs podem ser classificadas em unidades eficientes e ineficientes, tendo como referencial essa superfície formada (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005). A “Figura 2” ilustra esses conceitos da convexidade da curva.

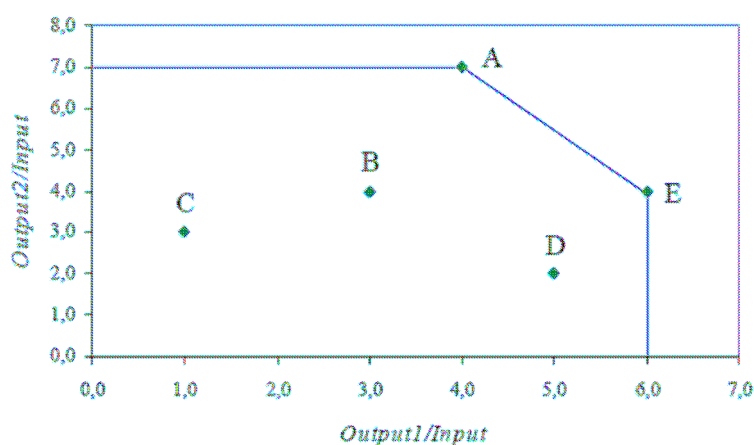


Figura 2 - Fronteira de eficiência  
Fonte: Soares de Mello *et al.* (2005, p.2531).

Essa técnica calcula o índice de eficiência referente ao seu próprio nicho de atuação, e, além disso, pode-se adotar peso para atribuir o real valor perante o conjunto analisado. Segundo Cooper et al. (2000), a definição deste método parte da Eficiência Pareto-Koopmans, em que uma organização é completamente eficiente se, e somente se, não é possível aumentar nenhum insumo ou produto sem diminuir algum outro insumo ou produto.

A eficiência é calculada para um grupo de unidades produtivas tomadoras de decisões, intituladas por DMU (*Decision Making Units*). Estas unidades fazem parte da superfície envolvente ou fronteira de eficiência dos dados observáveis. Segundo Charnes e Cooper (1985), estas unidades podem ser classificadas em eficientes ou ineficientes. As unidades eficientes são localizadas em cima da fronteira e as ineficientes localizam-se abaixo. Vale a pena destacar que o conceito de eficiência para este método é um pouco restrito, pois analisa a eficiência para um determinado setor, referente à amostra.

A partir disso, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) ampliaram os seus estudos utilizando múltiplos *inputs* e *outputs*, por meio de modelos não paramétricos denominados de *Data Envelopment Analysis* (DEA) ou Análise Envoltória de Dados, com retorno constante de escala denominado modelo CCR (homenagem aos autores) ou CRS (*Constant Returns to Scale*). Este modelo permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas (CASA NOVA, 2002).

Banker et al. (1984) eliminando a necessidade de rendimentos constantes de escala originaram uma nova modelagem para o DEA, assumindo um retorno variável de escala, denominado BCC ou VRS (*Variable returns to scale*). Este modelo estabelece distinção entre ineficiências técnicas e de escala, estimando a eficiência técnica pura, a uma dada escala de operações, e identificando se estão presentes ganhos de escala crescente, decrescente ou constante, para futura exploração (CASA NOVA, 2002).

Assim, o modelo pode ser orientado de duas formas: para a minimização dos insumos ou para a maximização dos produtos (COELLI et al., 1998). Por exemplo, no caso da orientação ser para minimização dos *inputs*, o modelo busca responder a seguinte questão: dado o nível de *outputs* que uma unidade produz qual a redução que pode ocorrer nos *inputs* de modo a manter o corrente nível de *outputs*? Já os modelos orientados para a maximização dos *outputs* procuram responder à questão: dado o nível de *inputs* utilizado, qual o maior nível de *outputs* que se pode alcançar mantendo-se o nível dos *inputs*? (VILELA, 2004). A “Figura 3” ilustra as orientações referidas.

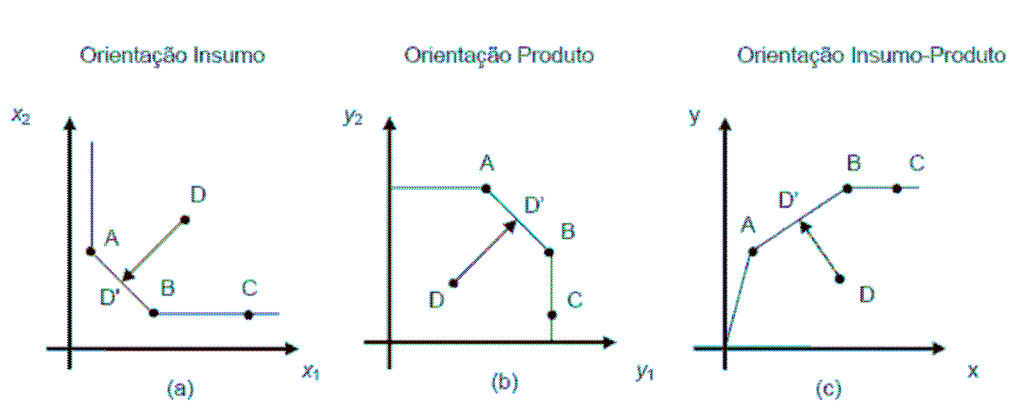


Figura 3 – Orientações do modelo matemático

De acordo com Paiva Jr (2000), o DEA apresenta várias aplicações nos últimos anos, pois grandes vantagens são a flexibilidade e a facilidade de aplicação. A “Figura 4” apresenta as diversas aplicações no Brasil e Exterior.

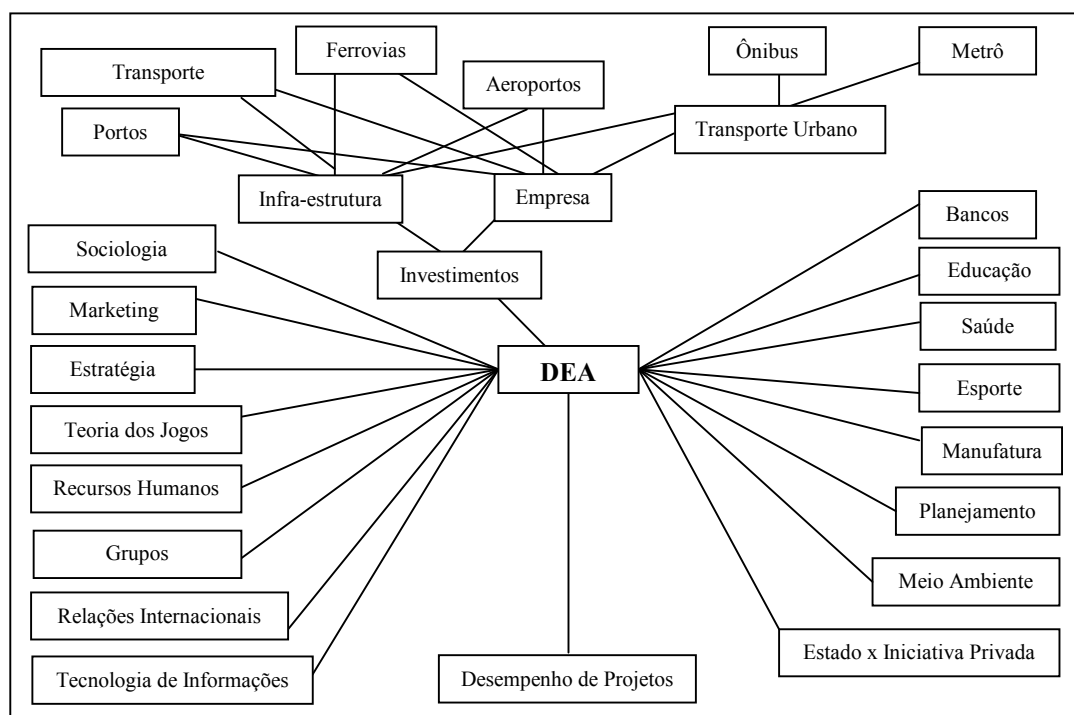


Figura 4 - Campos de aplicação do DEA  
 Fonte: Adaptado de PAIVA JR (2000, p.53).

Essa técnica apresenta algumas características importantes para mensurar a eficiência técnica. Segundo Charnes et al. (1996, p.7-8), as principais características são: (a) operar com múltiplos insumos e produtos; (b) não é necessário estipular a forma funcional; (c) gerar um único escore de desempenho relativo às outras unidades; (d) diferenciar as unidades eficientes das ineficientes; (e) definir os recursos e calcular o nível de ineficiência das unidades ineficientes; e (f) conseguir detectar as deficiências específicas, que não podem ser detectadas por outras técnicas.

De acordo com Thanassoulis (2001), na aplicação do DEA devem constar alguns procedimentos básicos: (a) as organizações devem ser homogêneas, sendo necessário analisar um conjunto que realiza as mesmas tarefas e possuem objetivos semelhantes; (b) as organizações devem atuar sob as mesmas condições de mercado; e (c) as variáveis (insumos e produtos) devem ser as mesmas, apresentando variações apenas quanto à intensidade ou magnitude. Para calcular eficiência utilizando modelos DEA, existem alguns *softwares* disponíveis do mercado conforme a “Tabela 1”.

Tabela 1 - Os tipos de *softwares* disponibilizados no mercado para calcular eficiência

| <i>Software</i>         | <i>Acesso</i>                                                                                                            | <i>Autor</i>           |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Warwick                 | <a href="http://www.deazone.com">www.deazone.com</a>                                                                     | Emmanuel Thanassoullis |
| <i>Frontier Analyst</i> | <a href="http://www.banxia.com">www.banxia.com</a>                                                                       | -----                  |
| SEM                     | <a href="http://www.wiso.uni-dortmund.de/lsfg/or/scheel/index.htm">www.wiso.uni-dortmund.de/lsfg/or/scheel/index.htm</a> | Holger Scheel's        |
| DEAP                    | <a href="http://www.une.edu.au/econometrics/cepa.htm">www.une.edu.au/econometrics/cepa.htm</a>                           | Tim Coelli             |
| ONFRONT 2               | <a href="http://www.emq.com">www.emq.com</a>                                                                             | -----                  |

Fonte: Panepucci (2003, p.50).

Para fins deste trabalho, a próxima secção detalhará quais os procedimentos necessários para se utilizar o *Frontier Analyst*.

#### 4. A FERRAMENTA *FRONTIER ANALYST*

O *Frontier* é uma ferramenta capaz de calcular a eficiência das organizações. Logo, o cálculo dessa ferramenta é realizado por meio dos modelos matemáticos descritos anteriormente. A “Figura 5” ilustra a primeira tela do *software* quando se deseja desenvolver um novo projeto. Para isso, é necessário escolher dentre as opções qual o método em que os dados poderão migrar para o programa, pois o *software* disponibiliza cinco alternativas: (a) Pasta de dados de transferência; (b) Importar os dados por meio do *Excel*; (c) Importar os dados por meio do SPSS; (d) Importar os dados oriundos de um arquivo por meio do *diskette*; e (e) Editar os dados manualmente pelo editor.

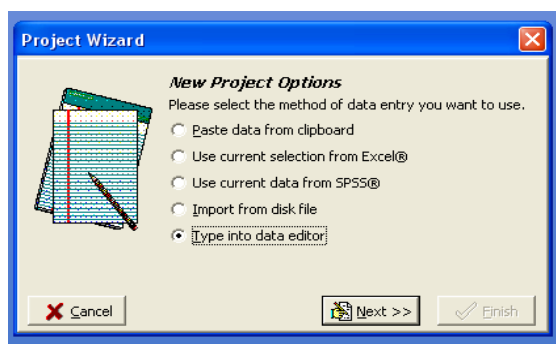


Figura 5 - Opções de escolha para novos projetos

A partir da seleção do método de entrada dos dados, a próxima etapa é bastante correlacionada com o procedimento anterior. Por isso, a “Tabela 2” ilustra qual procedimento adotar para cada etapa subsequente.

Tabela 2 - Procedimentos para ser adotado na próxima fase

| Nova opção de projeto                                             | Próxima etapa                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (a) Pasta de dados de transferência                               |                                                                                                                 |
| (b) Importar os dados por meio do <i>Excel</i> ;                  | Selecionar as variáveis de <i>input</i> e <i>output</i> de cada célula e transferi-las para o <i>software</i> . |
| (c) Importar os dados por meio do SPSS;                           | Selecionar as variáveis de <i>input</i> e <i>output</i> de cada célula e transferi-las para o <i>software</i> . |
| (d) Importar os dados oriundos de um arquivo de <i>diskette</i> ; | Selecionar o arquivo do <i>diskette</i> compatível com o <i>software</i> utilizado.                             |
| (e) Editar os dados pelo aluno                                    | Digitar as variáveis para ser utilizada pelo problema a ser estudado (ou analisado).                            |

Para fins deste artigo, a próxima fase a ser detalhada é como editar os dados do problema manualmente pelo estudante. Em seguida, a “Figura 6” ilustra a tela em que o aluno digitará (ou inserirá) o nome das variáveis para serem utilizadas como *input* e *output*. As variáveis de *input* podem apresentar duas configurações: (a) tipo dependente (controlável) ou (b) o tipo independente (não-controlável). A classificação das variáveis dependerá de como essas estão correlacionadas com o sistema global. Após essa classificação, o estudante tem a possibilidade de inserir as variáveis referente para cada *output*. Com isso, a próxima fase é definir quais unidades serão comparadas no sistema. Assim, é necessário digitar o nome de cada unidade, conforme a “Figura 7”.

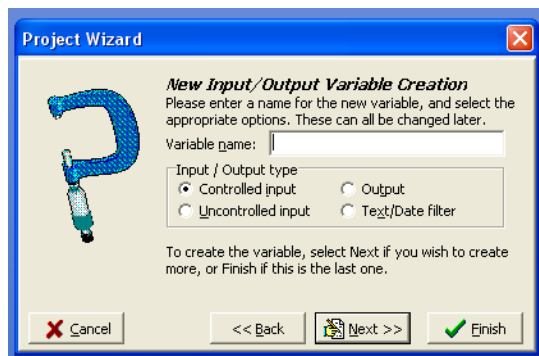


Figura 6 - Inserir (Intitular) o nome das variáveis



Figura 7 - Inserir (Intitular) o nome das unidades organizacionais (DMUs)

Com base nas variáveis dessa fase preliminar, a próxima fase é inserir os dados referentes a cada célula na matriz gerada pelo sistema conforme a tela disponibilizada pela “Figura 8”. O *Frontier* comporta um recurso que permite ativar e (ou) desativar as colunas (ou linhas) de cada célula da matriz em estudo. Desse modo, para que o estudante consiga calcular a eficiência do sistema, poderá utilizar qualquer combinação de variáveis e unidades do sistema em estudo. A “Figura 8” apresenta a tela em que o estudante disponibilizará os seus dados e poderá realizar qualquer modificação para definir quais unidades e variáveis irão participar do cálculo matemático.

A partir das variáveis definidas, a próxima fase é definir qual modelo utilizar para calcular a eficiência do sistema. Com base nos modelos matemáticos, esse *software* tem a possibilidade de realizar os procedimentos matemáticos por duas maneiras: (a) o modelo variável (BCC) e (b) o modelo constante (CCR). A partir da seleção dos modelos matemáticos, os modelos podem apresentar duas orientações distintas, tais como: (a) minimizar os *inputs* e (b) maximizar os *outputs*.

| Unit Name  | Active                              | Floor space | Staff | Cameras    | Video      | Warranties |
|------------|-------------------------------------|-------------|-------|------------|------------|------------|
| Bury       | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.200,00    | 3,00  | 75.000,00  | 125.000,00 | 14.700,00  |
| London     | <input checked="" type="checkbox"/> | 2.400,00    | 12,00 | 612.000,00 | 502.000,00 | 56.000,00  |
| Glasgow    | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.800,00    | 7,00  | 245.000,00 | 318.000,00 | 43.000,00  |
| Bath       | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.300,00    | 4,00  | 190.000,00 | 193.000,00 | 35.000,00  |
| Chippenham | <input checked="" type="checkbox"/> | 900,00      | 3,00  | 50.000,00  | 98.000,00  | 14.500,00  |
| Liverpool  | <input checked="" type="checkbox"/> | 2.000,00    | 7,00  | 120.000,00 | 263.000,00 | 139.400,00 |

Figura 8 - Panorama dos dados do sistema em estudo

O cálculo dos modelos matemáticos apenas são desenvolvidos se estiver correlacionado com o seu objeto de estudo. O modelo CCR será escolhido se as variáveis do conjunto aumentarem (ou diminuïrem) proporcionalmente. Enquanto, o modelo BCC será escolhido apenas quando as variáveis do conjunto não aumentarem (ou diminuïrem) proporcionalmente.

Outro aspecto relevante é determinar a orientação dos modelos matemáticos. Logo, essa orientação é definida com base na configuração do problema. Portanto, se o problema busca reduzir o consumo dos insumos significa utiliza a orientação para minimizar os *inputs*. Caso a

empresa almeje maximizar os produtos, a orientação indicada será para maximizar os *outputs*. Nesse caso, a “Figura 9” ilustra a tela para escolher qual modelo utilizar na programação matemática.

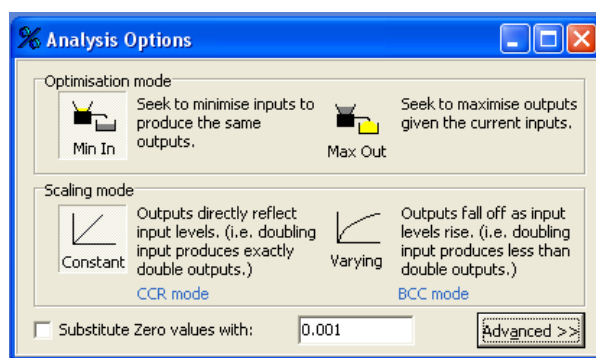


Figura 9 - Opções de análises para definir qual modelo matemático utilizar

A partir da definição das variáveis e da determinação de qual modelo utilizar, a próxima fase é compreender quais recursos disponíveis no *software* que auxiliam no procedimento de análise para o aluno utilizar. Assim, a “Figura 10” apresenta as principais funções disponibilizadas pelo programa. As funções principais são quatro: (a) visão geral dos dados; (b) pontuação das taxas de eficiência; (c) o detalhamento das informações para cada unidade produtiva; e (d) notas do projeto.

Além das funções principais, o *software* possui outras funções para a análise da eficiência do sistema produtivo. A “Figura 11” apresenta as funções para análise que podem ser subdivididas em seis categorias: (a) conjunto de frequência referenciada; (b) plotar os dados de  $x - y$ ; (c) plotar a eficiência; (d) plotar o gráfico do *Frontier*; (e) síntese das melhorias; e (f) a distribuição da pontuação.

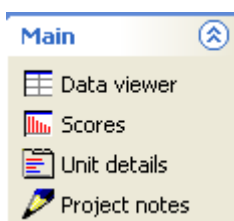


Figura 10 - Procedimento principal do *software*

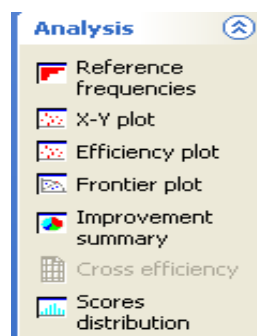


Figura 11 - Procedimento para análises

Cada tipo de análise disponibilizada pelo programa tem como objetivo transmitir para o aluno mais detalhes sobre a eficiência do sistema proposto. Logo, o detalhamento dessa informação propõe para o aluno características mais relevantes (ou estratégicas) para auxiliar na tomada de decisão. Portanto, a “Tabela 3” apresenta os tipos de análise para cada tipo de função.

Tabela 3 - Os tipos de análises disponibilizados pelo *software*

| Funções para análises dos dados          | Objetivo                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conjunto de frequência referenciada      | Ilustrar por meio de gráficos e por tabela as melhorias ocorridas em cada unidade organizacional.                                                                                                                                                                                                   |
| Plotar os dados no plano x – y           | Analisar o grau de correlação entre diversas variáveis do sistema.                                                                                                                                                                                                                                  |
| Plotar a eficiência                      | Calcular a eficiência para as variáveis pertencentes do eixo x.                                                                                                                                                                                                                                     |
| Plotar o gráfico do <i>Frontier</i>      | Construir uma fronteira utilizando os dados do sistema em análise. Para construir esse gráfico, é necessário apenas o sistema apresentar duas variáveis de <i>output</i> e uma <i>input</i> , pois com mais variáveis o gráfico (x e y) não tem como compor os dados em uma dimensão bidimensional. |
| Síntese das melhorias                    | (a) geral - Identificar em termos percentuais o total de incremento para cada variável.<br>(b) por <i>input</i> ou <i>output</i> - Identificar, em termos percentuais, o incremento para cada variável discriminando os ganhos para o <i>input</i> e o <i>output</i> do sistema.                    |
| Distribuição da pontuação por eficiência | Ilustrar a quantidade de unidades sendo essas unidades subdivididas em termos percentuais no gráfico.                                                                                                                                                                                               |

Dentre as funções de análise, uma das principais é plotar o gráfico do *Frontier* onde pode ser obtida uma representação gráfica da fronteira de eficiência. Essa fronteira pode dividir as unidades organizacionais em duas categorias, dentre as quais: (a) as unidades eficientes que estão sobre a fronteira e (b) as unidades ineficientes que estão abaixo da fronteira. Portanto, a construção da fronteira de eficiência de um sistema é realizada de acordo com suas unidades organizacionais (e os seus dados de *inputs* e *outputs*), bem como do modelo escolhido e a orientação para ser avaliada.

A “Figura 12” ilustra uma fronteira de eficiência onde identifica graficamente quais são as unidades organizacionais eficientes e quais unidades ineficientes.

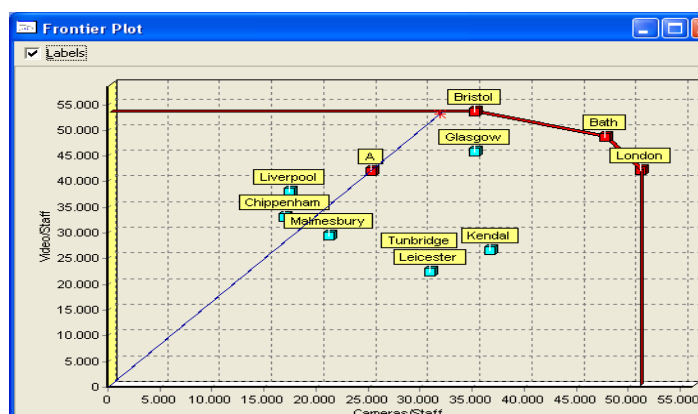
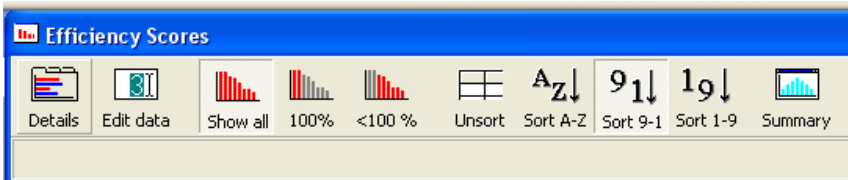


Figura 12 - Fronteira de eficiência de produção

A partir das funções de análise, a próxima etapa é identificar como o *software* disponibiliza os resultados para que o aluno possa analisar a eficiência de um sistema. Eles são apresentados por meio de uma lista com as taxas percentuais de eficiência para cada unidade organizacional.

A “Figura 13” ilustra como os resultados de um problema são disponibilizados. As taxas de eficiência podem ser disponibilizadas para o pesquisador por três diferentes maneiras: (a) ilustrar todas as unidades organizacionais; (b) ilustrar apenas as unidades de 100% de eficiência; e (c) ilustrar apenas as unidades organizacionais abaixo de 100% de eficiência. Ainda para apresentar os resultados, as organizações podem ilustrar os resultados por três diferentes maneiras, tais como: (a) ilustrar as unidades organizacionais em ordem crescente alfabética; (b) ilustrar as unidades organizacionais em ordem crescente numericamente e (c) ilustrar as unidades organizacionais em ordem decrescente numericamente. Assim o *software* disponibiliza nove possibilidades para apresentar os resultados.



The screenshot shows a software window titled "Efficiency Scores". It has a menu bar with "Details", "Edit data", "Show all", "100%", "<100 %", "Unsort", "Sort A-Z", "Sort 9-1", "Sort 1-9", and "Summary". Below the menu bar is a table with two columns: "Name" and "Score". The table lists the following data:

| Name      | Score  |
|-----------|--------|
| Bath      | 100,00 |
| Bristol   | 100,00 |
| London    | 100,00 |
| Glasgow   | 88,41  |
| Bury      | 78,32  |
| Kendal    | 71,57  |
| Liverpool | 70,62  |

Figura 13 - Taxa de eficiência calculada utilizando os modelos matemáticos

Após o cálculo de eficiência, o *Frontier* tem a possibilidade de informar para o aluno quais melhorias adotar para cada empresa do sistema, para que ela alcance 100% de eficiência. No detalhamento dessas informações, a “Figura 14” ilustra, em termos percentuais, o necessário para cada variável de cada unidade do sistema. A informação apresenta como eixos as variáveis da organização *versus* o grau de melhoria discriminado para cada uma delas. Esse tipo de informação é a principal característica desse *software*, pois os resultados têm como balizar as tomadas de decisões estratégicas das empresas.

Dessa forma, a “Figura 14” apresenta três barras discriminando a taxa percentual de incremento para cada variável. Essas informações são subdivididas por uma linha vermelha. A linha vermelha tem como objetivo indicar o marco zero das possíveis análises. Com base nessa linha, todo incremento realizado para o lado direito é positivo e o lado esquerdo significa os incrementos negativos. Vale destacar que esse tipo de resultado é apresentado para cada unidade organizacional analisada e para todas as variáveis do sistema. Percebe-se que esse tipo de resultado pode ainda ser apresentado por meio de tabela.

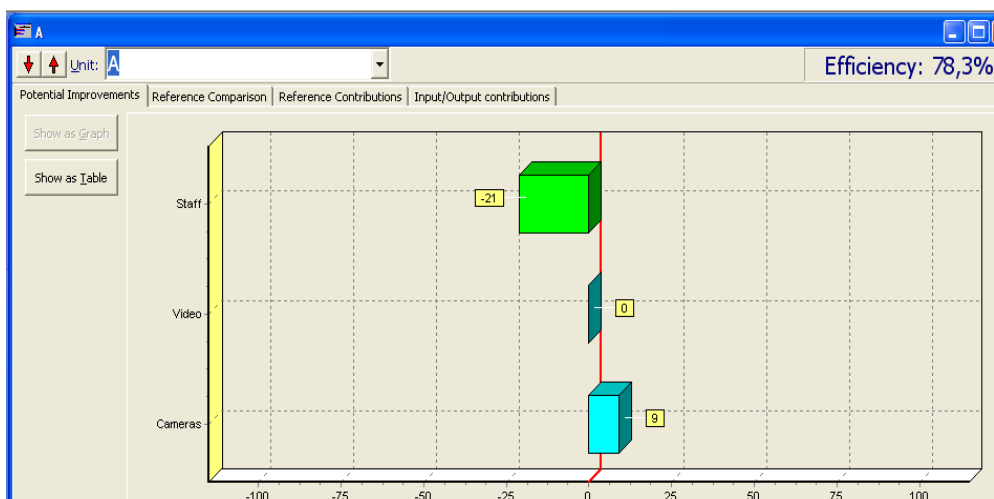


Figura 14 - Percentual de incremento para cada variável do sistema

Com base nas informações estratégicas, a “Tabela 4” ilustra quatro caminhos distintos para obter a mesma informação sobre o incremento em termos de melhoria percentual para cada unidade organizacional. Esses caminhos podem ser: (a) melhoria potenciais; (b) unidades comparativas adotadas como referências; (c) contribuições (ou incremento) de referenciais; e (d) contribuições relativas no *input* e no *output*. Vale destacar que as melhorias potenciais serão apenas discriminadas para as unidades organizacionais com a taxa de eficiência abaixo de 100%.

Tabela 4 - Os tipos de análises para determinar a melhoria

| Tipo de análises para determinar a melhoria                | Objetivo                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Melhoria potenciais                                        | Ilustrar as melhorias realizadas para cada variável do sistema.                                                |
| Unidades comparativas adotadas como referências            | Comparar as unidades adotadas como referencias por meio de gráficos.                                           |
| Contribuições (ou incremento) de referenciais              | Ilustrar por meio de um gráfico de pontos a quantidade de melhoria, em termos percentuais, para cada variável. |
| Contribuições relativas no <i>input</i> e no <i>output</i> | Ilustrar por meio de um gráfico de barras a quantidade de melhoria, em termos percentuais, para cada variável. |

Com base nessa seqüência de procedimentos, o aluno tem informações suficientes para proporcionar melhorias para as empresas alcançarem 100% de eficiência. Por isso, a disciplina de pesquisa operacional tem muito para contribuir na formação acadêmica de um futuro profissional.

## REFLEXÕES FINAIS

O *Frontier* é uma ferramenta capaz de avaliar a eficiência dos sistemas organizacionais. Desse modo, a fundamentação teórica sobre ferramentas matemáticas são desenvolvidas por meio da pesquisa operacional. Logo, esses modelos são muito utilizados para avaliar a eficiência dos sistemas organizacionais. Portanto, os alunos de Engenharia de Produção precisam estar mais capacitados sobre a utilização dessa ferramenta, principalmente, porque os ambientes estão cada vez mais complexos para ser mensurado. Em seguida, com base na fundamentação teórica dos modelos, a aplicação da ferramenta proporcionará auxiliar nas tomadas de decisões das empresas.

Com base na gama de informação disponibilizada pelo *software*, o *Frontier* é uma ferramenta muito útil para os alunos estudarem durante a graduação (ou pós-graduação). Tendo em vista que essa ferramenta possibilita auxiliar nas tomadas de decisões estratégicas das organizações, torna-se como atribuição essencial para os alunos contemplarem durante o curso. Além disso, existem outras ferramentas disponíveis no mercado capazes de calcular a eficiência, por isso esse trabalho se torna base para referenciar os principais procedimentos necessários para utilizar o *Frontier*. A partir desse trabalho, é possível investigar o desempenho de outras ferramentas disponíveis no mercado. Sendo assim, esse tópico torna-se proposta para futuras pesquisas com o objetivo de analisar as diferenças existentes entre os *softwares* comercializados no mercado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, vol. 30, p. 1078-1092, 1984.
- CAMP, R. **Benchmarking**: identificando, analisando e adaptando as melhores práticas da administração que levam à maximização da performance empresarial. São Paulo: Pioneira, 1993.
- CAMP, R. **Global cases in benchmarking: best practices from organizations around the world**. Milwaukee, Wis.: ASQ Quality, 1998.
- CASA NOVA, S.P.C. **Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. Tese de doutorado da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CHARNES, A.; GALLEGOS, A.; HONGYU, L. Robustly efficient parametric frontiers via Multiplicative DEA for domestic and international operations of the Latin American airline industry. **European Journal of Operational Research**, vol. 88, n. 3, p. 525-536 (12), 1996.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W. Preface to topics in Data Envelopment Analysis. **Annals of Operations Research** 2, p.59-94, 1985.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, vol. 2, p. 429-444, 1978.
- COELLI, T. A Computer program for Frontier Production Function Estimation: Version 2.0. **Economic Letters**, vol. 39, p. 29-32, 1992.
- COELLI, T.; PRAZADA RAO D.S.; BATTESE G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Massachusetts Kluwer Academic Publishers, 1998.
- COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. **Data envelopment analysis a comprehensive text with models, applications, references, and DEA-Solver software**. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.
- DEBREU, G. The Coefficient of Resource Allocation. **Econometrica**, vol. 19, p. 273-292, 1951.
- FARREL, M.J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, vol. 120, series A, p.253-290, 1957.
- HEIZER, J; RENDER, B. **Administração de Operações, bens e serviços**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.
- LINDAU, L.A.; COSTA, M.B.B.; SOUSA, F.B.B. Em busca do *benchmark* da produtividade de operadores urbanos de ônibus. **In: Transportes: experiências em rede**. p.199-221, 2001.
- PAIVA JR, H. **Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a abordagem integrada DEA/AHP**. Campinas. 178p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2000.

PANEPUCCI, G.T.M. **Avaliação de desempenho dos departamentos Acadêmicos da UFSCar Utilizando Análise de Envoltória de Dados – AED**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de São Carlos – UFCAR, 2003.

SOARES DE MELLO, J.C.C.B; MEZA, L.A.; GOMES, E.G.; BIONI NETO, L. .Curso de Análise de Envoltória de Dados. **In: Anais XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)**. Gramado, RS, 2005.

SPENDOLINI, M.J. **Benchmarking**. São Paulo: Makron Books, 1993.

THANASSOULIS, E. **Introduction to the theory and application of data envelopment analysis**: a foundation text with integrated software, Kluwer Academic Publishers, 2001.

VILELA, D.L. **Utilização do método Análise Envoltório de Dados Para Avaliação do Desempenho Econômico de Cooperativas de Crédito**. Dissertação (Mestrado) na Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2004.

## **TOOL TO CALCULATE THE EFFICIENCY: A PROCEDURE FOR PRODUCTION ENGINEERS**

The tools for calculation of efficiency have presented sensible evolution in the last times, result of the demand - private as in such a way public - of instruments that allow performance improvement. The “*Data Envelopment Analysis*” is one of the main techniques, in accordance with international and national literature, to carry through this procedure, elaborated to define a border formed for the connection of the best performances, amongst the analyzed units. The present article presents this tool from the main involved concepts and of the main areas and sectors where already it was applied. Moreover, it describes the necessary stages of procedure for application, from software Frontier Analyst. From this, the great relevance of this research is to teach new researchers as to use this tool to evaluate the efficiency of the productive processes.

**Key-words:** Efficiency, *Data Envelopment Analysis* e *Frontier Analyst*.