EFICIÊNCIA DAS INFRA-ESTRUTURAS PRODUTIVAS: UMA SISTEMATIZAÇÃO NA SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

Mariana Rodrigues de Almeida
Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção
Avenida Trabalhador Saocarlense, 400 – Centro. São Carlos-SP - Brasil - 13566-590
almeidamariana@yahoo.com

Daisy A. N. Rebelatto
Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção
Avenida Trabalhador Saocarlense, 400 – Centro. São Carlos-SP - Brasil - 13566-59.
daisy@sc.usp.br

RESUMO

O debate acerca da eficiência do capital público é uma questão de grande relevância para o campo de estudo relativo às diversas áreas do conhecimento. Nesse cenário, em que a eficiência das atividades públicas é crescentemente almejada e refutada, tomam projeção e relevância métodos e técnicas que tratam desse aspecto. Adquirem importância, por conseqüência lógica, pesquisas destinadas a sistematizar as contribuições e experiências sobre a utilização de tais métodos. Entretanto, poucos trabalhos extrapolam o caráter meramente aplicativo das técnicas, explicitando-se a carência por bibliografia que sistematize, sob diversos aspectos, as aplicações já realizadas, nesse campo do conhecimento. Dessa forma, o presente trabalho objetiva sistematizar quais variáveis foram utilizadas e os respectivos softwares para avaliar a eficiência sobre infra-estrutura na literatura internacional e nacional. Contribui-se, assim, com subsídios teóricos e analíticos para pesquisadores em gestão pública que se ocupam com a análise da eficiência das atividades públicas.

PALAVRAS CHAVE. Eficiência, Infra-estrutura, Estado.

ABSTRACT

The debate concerns the efficiency of the public capital is a subject of great relevance for the field of relative study to the several areas of knowledge. In this scenery, in what the efficiency of the public activities is increasingly longed for and refuted, they take projection and relevance techniques that treat that aspect. For logical consequence, researches destined to systematize the contributions and experiences about the use of such methods. Few works extrapolate the character merely application of techniques, explicated if the lack for bibliography that systematizes, the applications already accomplished, in the field of knowledge. This objective research to systematize which varied was used and the respective softwares to evaluate the efficiency about infrastructure in the international and national literature. It is contributed, therefore, with theoretical and analytical subsidies for researchers in public administration that are in charge with the analysis of the efficiency of the public activities.

KEYWORDS. Efficiency. Infrastructure. State

1. Introdução

A formulação da política orçamentária é um dos mais importantes assuntos discutidos nos âmbitos nacional e internacional, pois analisa a distribuição dos recursos públicos, bem como os melhores critérios de rateio para desmembrar o orçamento dentre os vários setores no país. Isso, agravado pelo atual cenário de recessão orçamentária, onde o grande problema é identificar o que pode ser cortado sem comprometer outros setores produtivos da economia (FURTADO, 2004).

No Brasil, os investimentos públicos estão alocados de forma heterogênea, ocasionando disparidades socioeconômicas entre as regiões (AZZONI; ANDRADE, 2005). Como conseqüência, algumas regiões possuem maior potencial de competitividade devido às condições mais favoráveis, por exemplo, de infra-estrutura, gerada pelos investimentos públicos.

As atividades governamentais se tornam cada vez mais complexas e diversificadas, o que pode dificultar a gestão de controle dos recursos públicos. A característica principal do sistema governamental é um ambiente complexo, o que apresenta uma dimensão com muitas variáveis, dentro de um espaço com várias dimensões (HERRERA; PANG, 2005). Nesse ambiente dinâmico e sistêmico, os programas de investimentos precisam ser avaliados. Percebe-se, então, que é necessário desenvolver e implementar ferramentas que permitam o monitoramento do desempenho dos gastos públicos com o objetivo de avaliar o retorno para a comunidade.

Além disso, as ferramentas de análise de eficiência podem auxiliar no planejamento de políticas públicas para estabelecer uma hierarquia dos programas governamentais e utilizar os mais eficientes como *benchmarking*. Isso permitiria a transferência de experiências entre as iniciativas, de maneira a aumentar os rendimentos, ocasionando um ganho global, para assim favorecer o aumento do desenvolvimento deste país. Com isso, a análise de eficiência passa a ser uma possibilidade de intervenção para mensurar a eficiência do gasto público e, em decorrência, otimizar sua alocação.

Nesse sentindo, esta pesquisa objetiva, à luz da perspectiva dos investimentos públicos em infra-estruturas, responder o seguinte questionamento: quais variáveis de *input* e *output* podem melhor analisar esse complexo sistema?

Para lançar luzes sobre tais reflexões, procedeu-se uma fundamentação teórica acerca: a) Infra-estrutura; b) Análise por envoltória de dados; c) o panorama da literatura internacional e nacional. Derradeiramente, foi possível verificar que a literatura nacional apresenta escassez bibliográfica sobre o assunto, o que torna essencial sistematizar os principais métodos capazes de avaliar os investimentos e a eficiência técnica em infra-estruturas, para o capital público brasileiro.

2. Infra-estrutura

Infra-estrutura pode ser definida como o conjunto dos meios que pode viabilizar um serviço ou um bem público para a sociedade sem exclusão da natureza do consumo. Na visão de Eberts (1990), as infra-estruturas são condição básica para promover o crescimento e o funcionamento da economia, dado o desenvolvimento local, regional e nacional. O mercado utiliza-se dessas estruturas para maximizar sua lucratividade.

Chamando atenção para uma questão ainda incipiente sobre o assunto, Reid e Sousa Junior (2005) afirmam que os investimentos para essas estruturas podem ser considerados como um dos maiores responsáveis pela destruição dos ecossistemas brasileiros. Por outro lado, defendem que pode haver, também, ganhos ambientais. Mediante uma polêmica conceitual, esses autores concluem que as infra-estruturas podem ser indutoras do desenvolvimento social e ambiental.

Mais precisamente, o trabalho desenvolvido por Gramlich (1994) aponta que as infra-estruturas são vetores para diminuir as disparidades econômicas, com o intuito de promover o desenvolvimento econômico e social de uma região. Ainda, as infra-estruturas podem ser conceituadas como parte de um estoque de capital defasado e, por considerar o capital público como complementar, são atrativas para captar recursos estrangeiros.

Rodríguez (1998) inicia o debate sobre a terminologia para evidenciar que infra-estrutura

pode ser intitulada como "capital público"; outra maneira popular é tratá-la de "infra-estrutura" e, finalmente, por "capital social fixo". Ao longo da história econômica, a função e a evolução do capital privado têm sido analisadas em vários estudos, enquanto que o capital público pode figurar como secundário, possivelmente pelas dificuldades inerentes à sua análise. Entretanto, a literatura reafirma a grande importância da infra-estrutura para o desenvolvimento econômico, sendo, assim, de grande importância para as nações. Diante disso, é bastante interessante investigar o estoque de capital público, o que inicia com as possíveis classificações e principais características, detalhadas no próximo tópico.

2.1 Classificações das infra-estruturas

A partir dos diferentes efeitos produzidos por cada infra-estrutura é possível classificá-las em produtivas ou sociais. Para que esse debate se desenvolva, é necessário referenciar o principal estudo sobre o papel do capital público para o desenvolvimento regional, produzido por Hansen (1965). Esse trabalho teve como objetivo analisar o impacto das diversas formas de infra-estrutura em diferentes tipos de regiões.

Hansen (1965) cataloga as infra-estruturas em dois grupos: (a) social, quando a infra-estrutura é destinada à formação do capital humano, como saúde, parques, educação, etc; e (b) infra-estrutura produtiva, cuja característica é orientar as atividades para estimular a produção e renda na sociedade, a exemplo de energia, comunicação, transporte (portos, aeroportos e rodovias), saneamento, etc. O conceito de infra-estrutura pode ser desmembrado em dois: infra-estrutura produtiva (ou econômica) e infra-estrutura doméstica. Para esse caso, o autor assevera que a infra-estrutura produtiva contempla os setores de transporte e comunicações. A infra-estrutura doméstica considera as áreas hospitalar, educacional, lazer e instituições culturais.

De acordo com Aschauer (1989), a infra-estrutura pode ser subdividida em três partes: (a) utilidades de caráter público "*core infrastructure*" (infra-estrutura núcleo); (b) obras públicas "*hard infrastructure*" (infra-estrutura "básica"); e (c) os outros setores de transportes. Inicialmente, as utilidades públicas incluem a energia elétrica, as telecomunicações, os serviços de água, esgoto e gás, e a coleta de lixo. Na segunda parte, as obras públicas incluem as rodovias, os sistemas de irrigação e drenagem. Na terceira (outros setores de transporte) englobam os portos, os serviços de transporte ferroviário urbano e interurbano, o transporte rodoviário urbano, as hidrovias e os aeroportos.

Com propriedade, Rodríguez (1998) apresenta uma classificação que considera a totalidade dos equipamentos públicos da seguinte forma:

- Infra-estruturas institucionais: compreendem os serviços próprios do exercício e da soberania. Exemplos podem ser citados, como defesa, segurança, justiça, etc.
- Equipamentos sociais: tem por objetivo fundamental a formação do capital humano, assim como a manutenção do bem-estar e a proteção social; é o caso da educação, saúde, assistência social, cultura e esporte.
- Infra-estruturas técnicas (produtivas): orientam-se principalmente às empresas, condicionando a capacidade e funcionamento do sistema produtivo em seu conjunto. Trata-se, entre outras, das dotações de transporte, comunicações, energéticas e de recursos hidráulicos.

Para fins deste trabalho, pretende-se, justamente, abordar essa última classificação apresentada – infra-estruturas técnicas ou produtivas. Em função do exposto acima, considera-se a infra-estrutura de **transportes, energia, saneamento, comunicação e segurança pública como infra-estruturas produtivas**.

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 (*Decision Making Units* - DMUs), quando a presença de múltiplas entradas e múltiplas saídas torna difícil realizar uma comparação.

Essa técnica foi desenvolvida por Charnes et al. (1978) com base nos conceitos de eficiência de Farell (1957). Análise por Envoltória de Dados tem a característica de comparar as unidades para determinar a eficiência técnica para cada unidade avaliada. Mais precisamente, a definição dessa técnica 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 (Cooper et al.,2000). O objetivo da técnica DEA é construir um conjunto de referência convexo e, em seguida, as DMUs podem ser classificadas como unidades eficientes e ineficientes, tendo como referencial essa superfície formada.

A eficiência é calculada para um grupo de unidades produtivas tomadoras de decisões, intituladas por DMU. Estas fazem parte da superfície envolvente ou da fronteira de eficiência dos dados observáveis. Ainda assim, segundo Charnes et al. (1996), as unidades podem ser classificadas em eficientes ou ineficientes e, para representá-las, as eficientes são localizadas em cima da fronteira, e as ineficientes localizam-se abaixo. Vale a pena destacar que o conceito de eficiência para essa técnica é um pouco restrito, pois analisa a eficiência para um determinando setor, referente à amostra pesquisada. A Figura 1 ilustra a fronteira de eficiência e apresenta a convexidade da curva.

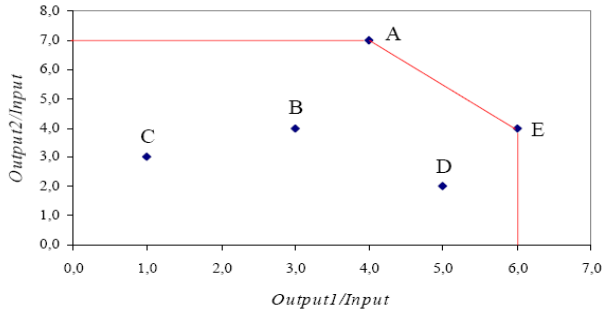

Figura 1 – Fronteira de eficiência
Fonte: Kozyreff Filho e Milioni (2004).

A partir disso, Charnes et al (1978) ampliaram os seus estudos utilizando múltiplos *inputs* e *outputs*, por meio de modelos não paramétricos denominados de Análise Envoltória de Dados ou *Data Envelopment Analysis* (DEA), com o modelo de retorno constante de escala denominado modelo CCR (homenagem aos autores) ou *Constant Returns to Scale* (CRS). Esse modelo permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas. O modelo CCR, considerado como um problema de programação linear, apresenta a seguinte formulação: a Expressão 1 representa a "função objetivo" que deve ser otimizada; a Expressão 2 e a Expressão 3 retratam as restrições do problema. Abaixo, encontra-se a representação de umas das modelagens existentes para o CCR, que é a primal, orientada ao *input*.

$$\text{MAX} = \sum_{i=1}^{m} u_i \cdot y_{i0} \qquad \textbf{[1]}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{n} v_j \cdot x_{j0} = 1 \qquad \textbf{[2]}$$

$$\sum_{i=1}^{m} u_i . y_{ik} - \sum_{j=1}^{n} v_j \cdot x_{jk} \leq 0 \quad \text{para k = 1,2 ....z} \qquad \textbf{[3]}$$

Em que:
u_i, v_j = peso calculado para o produto i e o insumo;
x_{jk}, y_{ik} = quantidade do insumo j para unidade k e do produto i para unidade k;
x_{j0}, y_{j0} =quantidade do insumo j para unidade em análise e do produto i para unidade em análise;
n, m = número de tipos de insumo e produtos;
z = número de unidades em avaliação;
u_i e $v_j \geq 0$

De acordo com Banker et al. (1984), eliminando-se a necessidade de rendimentos constantes de escala, origina-se uma nova modelagem para o DEA, assumindo retorno variável de escala, denominado BCC ou VRS (*Variable Returns to Scale)*. Esse 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. A Expressão 4 apresenta a função objetivo do modelo BCC a ser otimizada, e as Expressões 5 e 6 apresentam as restrições referentes à função objetivo. Essas equações descrevem o modelo BCC primal orientado aos *inputs*.

$$\text{MAX P0} = \sum_{i=1}^{m} ui \cdot yi0 + u \qquad \textbf{[4]}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{n} v_j \cdot x_{j0} = 1 \qquad \textbf{[5]}$$

$$\sum_{i=1}^{m} u_i \cdot y_{jk} + u - \sum_{j=1}^{n} v_j \cdot x_{jk} \leq 0 \quad \text{para k = 1,2 .....z} \qquad \textbf{[6]}$$

Em que:
u_i, v_j = peso calculado para o produto i e o insumo j;
x_{jk}, y_{ik} = quantidade do insumo j e do produto i para cada unidade k;
x_{j0}, y_{j0} =quantidade do insumo j e do produto i para cada unidade em análise;
n, m = número de tipos de insumo e produtos;
z = número de unidades em avaliação.
u = coeficiente de retorno a escala
u_i *e* $v_j \geq 0$

Adicionalmente, segundo Charnes et al. (1996), a Tabela 2 sistematiza os principais modelos matemáticos contemplados pela literatura sobre Análise por Envoltória de Dados. Esse método apresenta algumas características importantes para mensurar a eficiência técnica. As principais características são: (a) operar com múltiplos insumos e produtos; (b) não ser necessário estipular uma 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 capturar deficiências específicas, que não podem ser detectadas por outras técnicas.

Para a aplicação da técnica DEA, requer-se uma seqüência de etapas, segundo Golany e Roll (1989), que podem ser compreendidas nas fases: (a) seleção das DMUs que entram na análise; (b) seleção das variáveis (insumos e produtos) que são relevantes e apropriados para estabelecer a eficiência relativa das DMUs selecionadas; e (c) identificação e aplicação dos modelos.

Modelos	Retornos de escala	Superfície de envelopamento	Unidades invariantes	Não-arquimédio
Aditivo	Variável	partes lineares	Não	Não
Multiplicativo invariante	variável (log-linear)	partes Cobb-Douglas	Sim	Não
Multiplicativo variante	constante (log-linear)	partes log-linear	Não	Não
BCC *input*	Variável	partes lineares	Sim	Sim
BCC *output*	Variável	partes lineares	Sim	Sim
CCR *input*	partes constantes	partes lineares	Sim	Sim
CCR *output*	partes constantes	partes lineares	Sim	Sim

Tabela 2 – Comparação dos principais modelos matemáticos referentes ao DEA
Fonte: Adaptado Charnes et al. (1996, p.45)

Adicionalmente, de acordo com Cooper et al (2000), na aplicação do DEA deve 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 de insumos e produtos devem apresentar variações apenas quanto à intensidade ou magnitude, porém precisam ter um forte grau de correlação para que possam conseguir resultados representativos.

Para selecionar as variáveis que serão utilizadas na análise, Senra (2005) aponta que é essencial utilizar procedimentos metodológicos como: (a) Método Multicritério; (b) Método Multicritério Combinatório Inicial; (c) Método Multicritério Combinatório por Cenários. O autor elucida, ainda, outros métodos como: (a) Método Multicritério Total e (b) Método Multicritério Total Simplificado. A partir desses métodos, é possível selecionar as variáveis de *input* e *output* adequadas aos objetivos do estudo e à amostra pesquisada. Os cálculos da média, do desvio-padrão, da regressão e da ANOVA se tornam essenciais a fim de verificar se cada variável de *input* e *output* apresenta ou não distorção em relação aos resultados finais (DYSON et al., 2001).

Além disso, Gomes et al. (2004) avaliaram que se deve evitar o uso de um modelo com grande número de variáveis e sem relação de causalidade. Para tanto, Gonzalez Araya et al. (2002) indicam que a relação entre variáveis deve situar-se entre 4 a 5 vezes maior que a quantidade de DMUs, em especial quando, além do índice de eficiência, deseja-se realizar *benchmarks* a partir das unidades consideradas eficientes. Cooper et al. (2000) identificam que o número de DMUs deve ser maior, no mínimo, três vezes o número da quantidade de insumo (m) e produtos (s). A Expressão 7 ilustra a relação entre a quantidade de variáveis e o tamanho da amostra. Nessa formulação, n representa o número de DMUS; m refere-se ao número de insumos; e s, ao número de produtos.

$$n \geq \max \{m \times s;\ 3\,(m + s)\} \qquad \textbf{[7]}$$

Para Dyson et al. (2001), algumas limitações podem ser listadas: (a) à medida que cresce o número de variáveis, aumenta também a chance de mais unidades alcançarem o desempenho máximo; (b) numa técnica não paramétrica, torna-se difícil formular hipóteses estatísticas; e (c) a DEA apenas analisa o desempenho "relativo", mas converge muito vagarosamente para o desempenho "absoluto" porque está baseado em dados observados e não no ótimo ou no desejável. Além disso, para garantir resultados fidedignos, Dyson et al. (2001) elencam as principais armadilhas e, respectivamente, apontam algumas recomendações necessárias para serem utilizadas por todos os modelos matemáticos referentes ao DEA, conforme ilustra a Tabela 3.

Tema	Armadilha	Recomendação
Homogeneidade	Unidades não homogêneas Ambiente não homogêneo Escala de economia	É necessário que as unidades sejam do mesmo segmento e com portes similares.
Conjunto de *inputs* e *outputs*	O número de *inputs* e *outputs* Fatores correlacionados	A quantidade de variáveis deve ser selecionada pelo maior nível de correlação e não devem ser múltiplas porque os resultados serão alterados.
Medidas de fatores	Dados qualitativos Fatores exógenos	É necessário reduzir a variabilidade ao máximo na transformação dos dados quantitativos.
Pesos	Assumindo a linearidade Pesos com valores zeros	Esse procedimento deve ser realizado para garantir todos os fatores na análise.
Restrições de pesos	Ajustes das restrições de pesos Eficiência absoluta *versus* relativa	O peso deve ser atribuído pelo grau de importância no sistema produtivo.

Tabela 3 – Comparação dos principais modelos matemáticos referentes ao DEA
Fonte: Adaptado Dyson et al. (2001).

Para sistematizar de maneira simples, é possível representar as principais fases, desmembradas, que essa técnica contempla para calcular a eficiência, conforme a Figura 2.

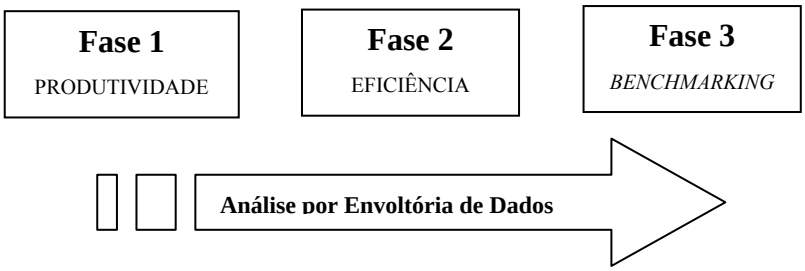

Figura 2 – As principais fases do modelo matemático

A partir dessas fases, é possível determinar os índices de eficiência para cada empresa e estabelecer qual a meta necessária para atingir a eficiência (KOZYREFF FILHO; MILIONI, 2004). Para finalizar, a Figura 3 sintetiza toda evolução que o modelo matemático apresentou ao longo dos anos, especificamente, desde os seus primeiros estudiosos até 1993 (CHARNES et al, 1996).

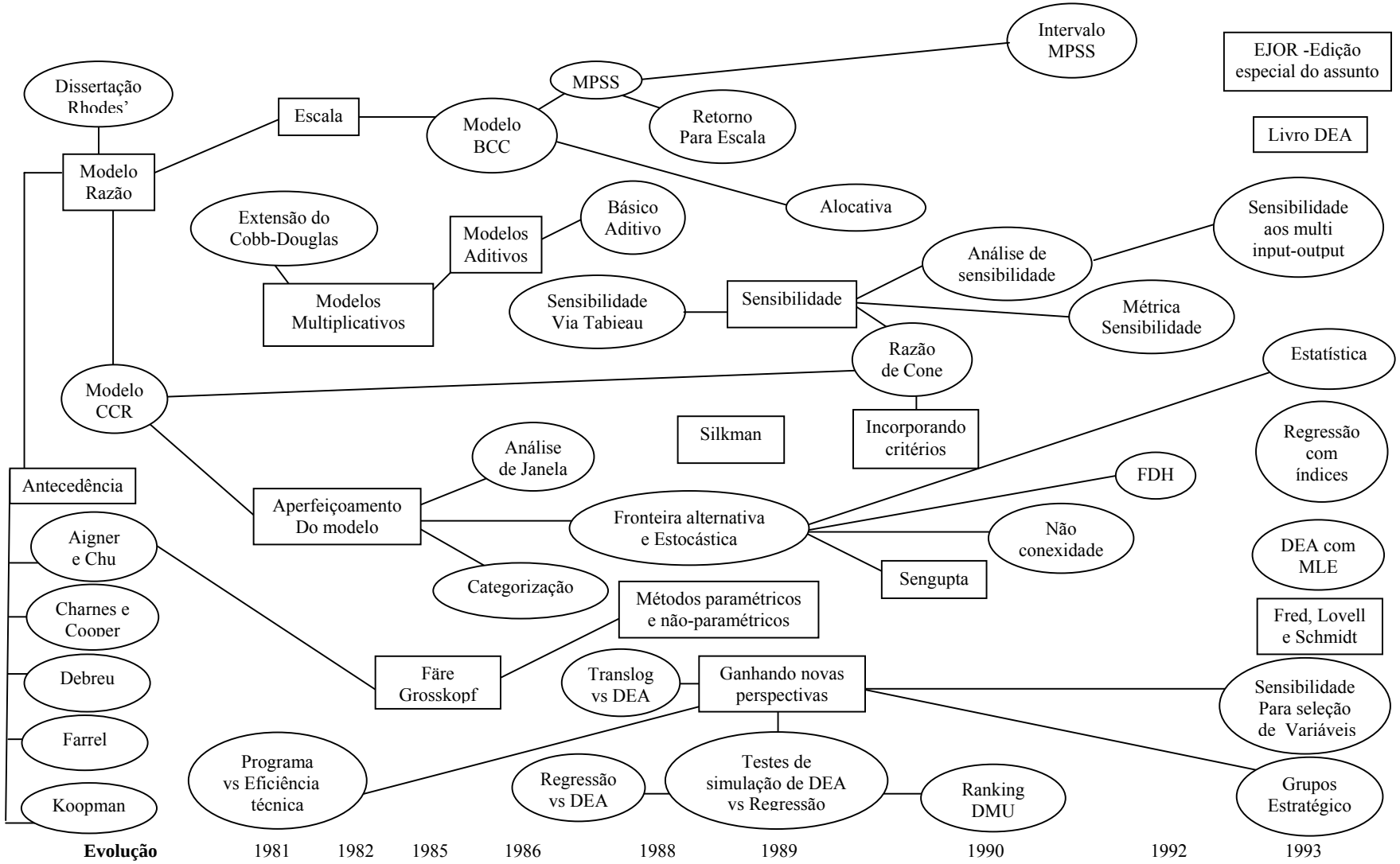

Figura 3 – Evolução do modelo matemático DEA no tempo
Fonte: Adaptado de Charnes et al. (1996, p. 12)

4. Panorama dos trabalhos realizados na literatura nacional e internacional

A Análise por Envoltória de Dados é uma técnica amplamente difundida pela literatura internacional. Para fins deste trabalho, foi realizada uma sistematização dos principais trabalhos internacionais e nacionais que avaliaram a eficiência do setor público para infra-estrutura produtiva.

Para o estudo de infra-estrutura de transporte, na literatura nacional, especificamente rodovias, pode-se citar Gomes et al. (2004) com o estudo realizado sobre a eficiência de auto-estradas federais, correspondentes aos anos de 1999 e 2000, utilizando o DEA. Nesse caso, o estudo utilizou dois modelos: os modelos parciais I e II e os modelos globais I e II. O primeiro modelo busca medir o investimento da concessionária com vistas à redução de acidentes, enquanto o segundo modelo inclui o montante das receitas coletadas pelas concessionárias. Logo, caso exista uma correlação entre investimento e acidente, bem como se houver entre receita e investimentos, é possível concluir que uma concessionária com vários casos de acidentes pode ser considerada ineficiente, porque não está utilizando o percentual das receitas para melhoria das condições de suas auto-estradas. Entretanto, esses dois modelos parciais apenas permitem analisar a eficiência do ponto de vista do usuário ou da agência reguladora, mas não do ponto de vista empresarial. Por isso, é necessário desenvolver modelos que permitam uma análise global do sistema, obtendo um único índice de eficiência por meio dos resultados do modelo parcial. Nesse caso, os autores utilizaram o modelo "benevolente" para proporcionar esta análise mais global do sistema. Segundo esses autores, essa formulação é denominada "benevolente" porque, para que uma DMU seja eficiente, basta que o seja em um dos dois modelos parciais. Sendo assim, este modelo apresenta a característica na qual o input é unitário para todas as DMUs, e os outputs são os índices de eficiência. Como resultado, essa pesquisa identificou que os modelos parciais podem apresentar informações importantes referentes aos serviços prestados. Para o modelo benevolente, as concessionárias CONCER e PONTE foram 100% eficientes em ambos os períodos.

Sobre infra-estrutura portuária, Rios e Maçada (2005) avaliaram a eficiência relativa das operações dos terminais de contêineres do Mercosul nos anos de 2002, 2003 e 2004. Esse trabalho analisou, como amostra, 15 terminais de contêineres brasileiros, 6 terminais argentinos e 2 uruguaios. Pôde-se, em seguida, concluir que mais de 60% dos terminais foram eficientes nos três anos. Para realizar a análise de benchmarking, os terminais de Zarate, Rio-Cubatão e Teconvi foram os que mais serviram de referência.

Outro estudo importante para avaliar a eficiência foi sobre a segurança pública, realizado no Rio de Janeiro, e avaliou quais unidades policiais eram mais eficientes (GOMES et al., 2003). Neste caso, o estado foi dividido em áreas integradas de segurança pública (AISPs), que compreendiam um batalhão de polícia militar e delegacia(s) de polícia civil. As DMUs foram os batalhões de polícia militar correspondentes a cada AISP. Em seguida, para cada região, definiram-se as principais variáveis que contemplariam esta avaliação e utilizou-se o modelo DEA-BCC.

Para a infra-estrutura de saneamento, Carmo e Távora Junior (2003) realizaram uma pesquisa na qual avaliaram a eficiência das empresas brasileiras, por meio do DEA. Esse estudo utilizou uma amostra originada do SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento) referente ao ano 2000. Nessa fonte, havia informações sobre as 26 CESBs em operação em várias regiões do país. Os resultados foram analisados por meio dos modelos DEA-CCR e o DEA-BCC, utilizando-se, para os cálculos, o Analyst Frontier. Com base neste estudo, identificou-se a empresa mais eficiente, que pertencia ao Estado do Espírito Santo. No estabelecimento de metas referentes às quantidades de inputs e outputs, destacou-se como empresa mais eficiente a COSAMA/AM e a mais ineficiente, a CAEMA/MA, em ambos os modelos. Posteriormente, ao analisar a eficiência de acordo com a localização, observou-se que a região mais eficiente foi a Sudeste. Nesse contexto, a Tabela 4 sistematiza os principais trabalhos que utilizam análise por envoltória de dados para avaliar infra-estruturas, apontando os países em que foram aplicados, os respectivos objetivos e as principais variáveis utilizadas de *input* e *output*, respectivamente na literatura internacional e nacional.

Autor	Amostra	Objetivo dos trabalhos	*Inputs*	*Outputs*
Carmo e Távora (2003)	Brasil	Estimar o grau de eficiência para 26 empresas estaduais de saneamento.	Mão-de-Obra Cap.Instalada–Vol.d'água prod. Cap. Instalada –Vol. de esgoto coletado Extensão da Rede d'Água Extensão da Rede de Esgoto	Vol. de Água Faturado Vol. de Esgoto Faturado Quant. de Economias Ativas de Água Quant. de Economias Ativas de Esgoto
Gomes et al. (2003)	Brasil	Segurança pública DEA Avaliar a eficiência a segurança pública	Quant. de delitos praticados A produção policial Efetivo policial	Ações ao combate do crime Nível de criminalidade
Gomes et al. (2004)	Brasil	Avaliar o investimento nas auto-estradas federais para os anos de 1999 e 2000.	**Modelo 1** Acidentes/km **Modelo 2** Acidentes/km Receita-dia/km	**Modelo 1** Investimento/km Tráfego/km **Modelo 2** Investimento/km
Karkazis e Thanassoulis (1998)	Norte da Grécia (1982-1986)	Avaliar a eficiência dos investimentos públicos em infra-estruturas e o incentivo para atrair investimentos privado para região da Grécia.	Total de invest. públicos; Total de invest. incentivados	Investi. privad. indust Investi. privad.agricu. Investi. privad. serviços
Lynde e Richmond (1999)	Reino Unido (1966-1990)	Estimar as mudanças tecnológicas, a eficiência e a intensidade dos *inputs* concernente a relevância do investimento em capital público.	Mão de obra empregada Total de capital privado Total de capital público	PIB
Rios e Maçada (2005)	Infra-estrutura portuária do mercosul	Avaliar a eficiência relativa das operações dos terminais de contêineres do Mercosul nos anos de 2002, 2003 e 2004.	Número de guindastes Número de berços Número de funcionários Área do terminal Número de equip. no pátio	Quant. TEU movimet. Média de movimentação de contêineres por hora por navio
Sampaio et al. (2005)	Brasil	Determinar o grau de eficiência técnica das usinas hidrelétricas.	Potência instalada; Altura líquida (ou efetiva); Mão-de-obra	Média anual de energia elétrica produzida

Tabela 4 – Aplicação da técnica análise por envoltória de dados na literatura internacional e nacional

Considerações finais

O tema "eficiência da administração pública" é um assunto muito amplo, que apresenta diferentes enfoques, quando analisado à luz dos conceitos de macrossistema, originários da engenharia de produção. A partir de um enfoque diferenciado, o objetivo geral do presente trabalho foi identificar e sistematizar as principais aplicações existentes na literatura internacional e nacional, para avaliar a eficiência dos investimentos públicos em infra-estrutura.

Diante da quantidade de estudos internacionais, as pesquisas brasileiras ainda podem ser consideradas incipientes, no que diz respeito a avaliação de eficiência dos escassos investimentos públicos em infra-estrutura. Essa incipiência nacional também foi observada nos trabalhos sobre DEA, visto que a maioria dos trabalhos utiliza apenas os modelos CCR e BCC como principal técnica ou procedimento único para calcular a eficiência dos sistemas. Outros modelos matemáticos, tais como os multiplicativos, os aditivos, os radiais, não radiais e os hiperbólicos poderiam ser explorados em novas pesquisas. Vale destacar que, segundo Soares de Mello (2005), os modelos não-radiais apresentam resultados mais confiáveis que os modelos CCR e BCC, mas essa conclusão não é representativa quando se verifica na literatura. Assim, outros procedimentos se mostram necessários para apontar qual modelo apresenta resultados mais confiáveis diante de uma mesma amostra.

Foi identificado, ainda, que poucos trabalhos da literatura internacional e nacional têm a preocupação de analisar os procedimentos para a seleção das variáveis de *input* e *output*. Para selecionar tais variáveis, o método dos multicritérios foi encontrado com mais freqüência. Outro ponto importante, que se destacou dentre as observações, foi acerca do índice de correlação utilizado para identificar se as variáveis estão ou não fortemente correlacionadas; nos trabalhos consultados, não foi possível identificar isso de maneira clara. Surge, então, outra hipótese: será que apenas o índice de correlação igual a 1 é tido como padrão para avaliar se as variáveis estão fortemente correlacionadas, ou existe um índice intermediário para elucidar isso?

Para realizar os procedimentos dos cálculos matemáticos, mediante a utilização das técnicas paramétricas e não-paramétricas, existem diversos *softwares,* comercializados no mercado, que se ajustam aos mais diferentes sistemas. De uma maneira generalizada conclui-se, a partir das características individuais, que o *software* mais completo disponível no mercado é o SIAD, pois, além de realizar análises sobre eficiência, permite utilizar, por meio do pacote computacional, as análises de multicritérios para selecionar as variáveis. Por ser um *software* nacional, mesmo sendo o mais completo para avaliar os modelos matemáticos do DEA, não é utilizado pela literatura internacional, que freqüentemente explora o Frontier, que apresenta uma melhor interface, se comparado com os demais comercializados no mercado. Desse modo, uma sugestão para os novos estudiosos é realizar pesquisas que comparem os resultados obtidos pelos diversos *softwares* disponíveis, para um mesmo estudo de caso com foco no tema infra-estrutura.

5. Referências bibliográficas

Aschauer, D. A. (1989), Does public capital crowd out private capital? *Journal of Monetary Economics*, 24, 171–188.

Azzoni, C.R. e Andrade, A. S. (2005), The tertiary sector and regional inequality in Brazil. *Région et Development*, 21,155–172.

Banker, R.D., Charnes, A. e Cooper, W. W. (1984), Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, v. 30, p. 1078–1092.

Carmo, C. M. e Távora Júnior, J. L. (2003), Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 31, Porto Seguro.

Charnes, A., Cooper, W. W. e Rhodes, E. (1978), Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1, 429–444.

Charnes, A., Cooper, W. W. e Rhodes, E. (1996), *Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications*. 2 ed. Norvell: Kluwer Academic Press.
Cooper, W., Sieford, L. e Tone, K. (2000), Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, Reference and DEA–Solver software. Kluwer Academic Publishers.
Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*. Series A (General), 120, 3,253–290.
Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A. S. e Podinovski, V. V. (2001), Pitfalls and protocols in DEA, *European Journal of Operational Research,* 132, 245–259.
Eberts, R. W. (1990), Public infrastructure and regional economic development. E*conomic Review,*26, 15–27.
Furtado, C. (2004), Os desafios da nova geração. *Revista de Economia Política*, 24, 4, outubro-dezembro, 483–486
Golany, B. e Roll, Y. (1989), An application procedure for DEA. *OMEGA Internacional Journal of Managment Science*, Great Britain, 17, 3, 237–250.
Gomes, E.G., Mello, J.C.C.B. S., Assis, A.S., Morais, D.P. e Oliveira, N. A. C. (2003), Uma medida de eficiência em segurança pública. Niterói: *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, 3, 7, 1–15.
Gomes, E., Mello, J., Luiz Neto, B e MEZA, L.A. (2004), Gestão de auto-estradas: Análise de eficiência das auto-estradas federais brasileiras com portagens. *Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão,* Lisboa - Rio de Janeiro, 3, 2, 68–75.
Gonzalez Araya, M.C. (2002), Uma metodologia para projetar DMUs em facets eficientes de maior dimensão. In: Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro.
Gramlich, E. (1994), Infrastructure Investment: A Review Essay. *Journal of Economic Literature,*32, 1176–96.
Hasen, N.M. (1965), Unbalanced Growth and regional Development. *Western Economic Journal*, 4, 1, 3–14.
Herrera, S. e Pang, G. (2005), Efficiency of Public Spending in Developing Countries: An Efficiency Frontier Approach. *Public Choice*,123, 321–347.
Karkazis, J. e Thanassoulis, E. (1998), Assessing the effectiveness of Regional development policies in northern Greece Using Data Envelopment Analysis. *Socio Economic Plannig Science*, 32,2, 123–137.
Kozyreff Filho, E. e Millioni, A. Z. (2004), Um método para estimativa de metas DEA. *Revista Produção*, 14, 2.
Lynde, C. e Richmond, J. (1999), Productivity and efficiency in the UK: a time series application of DEA. *Economic Modelling*, 16, 105–122.
Reid, J. e Sousa Júnior, W. C. (2005), Infrastructure and conservation policy in Brazil. Conservation Biology, 19, 3, 740–746.
Rios, L. R. e Maçada, A. C. G. (2005),Medindo a eficiência relativa das operações dos terminais de contêineres do Mercosul. In: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, Gramado.
Sampaio, L. M. B., Ramos, F. S. e Sampaio, Y. (2005)**,** Privatização e eficiência das usinas hidrelétricas brasileiras. *Economia Aplicada*, July./Sept., 9, 3, 465–480.
Senra, L.F. A. C. , Nanci, L. C. , Meza, L. (2005), A. Revisão Dos Métodos Totais De Seleção De Variáveis Em Dea. In: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO). Gramado, RS.
Soares De Mello, J.C.C.B, Gomes, E.G. , Meza, L.A., Bioni Neto, L. e Sant Anna, A.P. (2005), Fronteiras DEA difusas. *Investigação Operacional*, 25, 85–103.