

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC

**DESEMPENHO E BENCHMARKING DE EMPRESAS DE TRANSPORTE
RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil.

SAMANTHA FIGUEIREDO SILVEIRA

Florianópolis, março de 2008

DESEMPENHO E BENCHMARKING DE EMPRESAS DE TRANSPORTE
RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS

SAMANTHA FIGUEIREDO SILVEIRA

Dissertação julgada adequada para a
obtenção do Título de MESTRE em
Engenharia Civil e aprovada em sua forma
final pelo Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil – PPGEC da Universidade
Federal de Santa Catarina – UFSC.

Prof. Dr. Glicério Trichês – Coordenador do PPGEC

Prof. Dr. Antonio Galvão Novaes – Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Antonio Galvão Novaes – Moderador – ECV/UFSC

Dr^a. Lenise Grando Goldner – ECV/UFSC

Dr^a. Mirian Buss Gonçalves – ECV/UFSC

Dr. Rômulo Dante Orrico Filho – PET/COPPE/UFRJ

“Seja o que for que você faz ou sonha em fazer, Comece.

A audácia tem força, poder e magia.

Comece agora!”

Johann Goethe

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra à minha família, meus “companheiros de viagem”.

AGRADECIMENTOS

São muitas as pessoas a quem eu gostaria de agradecer pela ajuda no desenvolvimento desta dissertação de mestrado. Precisei de velhos e de novos amigos para entender as nuances do mundo da engenharia, em especial do setor de transporte. Dizer que “eu não poderia ter feito esse trabalho sem vocês” pode parecer clichê, mas é a mais pura expressão da verdade.

Aos meus pais, Lourdes e Rosalvo, pelo carinho e confiança que sempre depositaram em mim e pelos valiosos questionamentos e sugestões. À querida Lúcia, pelo apoio e incentivo, de todos os dias. Ao meu irmão Humberto, pelo apoio incondicional e sua disponibilidade em ajudar sempre, nos mais variados problemas, e também por ser o meu melhor amigo. Muito obrigado!

Ao Professor Antonio Galvão Novaes, pela sua orientação que estimulou o desenvolvimento deste estudo, pela disponibilidade para discussão do tema e constante acompanhamento e pelos ensinamentos, que levarei comigo para sempre.

Às Professoras, Lenise Grando Goldner e Miriam Buss Gonçalves e ao Professor Rômulo Dante Orrico Filho, por vossa participação na banca examinadora, contribuindo com críticas e sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Engenheiro Rodolfo Carlos Nicolazzi Philippi, por dividir comigo seus conhecimentos e experiências com as empresas de transporte rodoviário interestadual de passageiros e com suas sugestões e críticas no início deste processo, quando precisava de “um empurrão para a largada”.

Aos membros do Labtrans, em especial à Engenheira Ursula Beatriz Schmitdinger Vieira, minha querida “chefe”, em meu saudoso período como membro daquele laboratório.

A todos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e às pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIII
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Considerações Iniciais.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivos gerais	17
1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3 Justificativas	18
1.4 Estrutura da Dissertação	19
2. TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS NO BRASIL.....	21
2.1 Introdução.....	21
2.2 Evolução do transporte no Brasil.....	21
2.3 Organização Institucional	22
2.4 Estrutura do Mercado	25
3. PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA: CONCEITOS, MEDIDAS E MODELOS.....	27
3.1 Introdução.....	27
3.2 Produtividade.....	27
3.2.1 Fator de Produtividade Total.....	29
3.3 Eficiência	31
3.3.1 Técnicas para obtenção de medidas de eficiência	41
4. TÉCNICAS PARAMÉTRICAS PARA MEDIR A PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA..	43
4.1 Introdução.....	43

4.2	Um breve histórico das Técnicas Paramétricas.....	43
4.3	Características das Funções de Produção.....	44
4.3.1	Variações na escala de produção.....	44
4.3.2	Modelos de Função de Produção.....	47
4.4	Função Custo.....	57
4.4.1	Modelos de fronteira para uma função custo com uma única equação.....	59
4.4.2	Alguns estudos realizados para estimar Funções Custo em transportes.....	63
4.5	Conclusões deste capítulo.....	69
5.	TÉCNICA NÃO-PARAMÉTRICA PARA MEDIR EFICIÊNCIA: ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS.....	70
5.1	Introdução.....	70
5.2	Um breve histórico da Análise Envoltória de Dados.....	70
5.3	Conceituação da Análise Envoltória de Dados.....	72
5.4	Possíveis usos de DEA.....	74
5.5	Decomposição da Eficiência Técnica Total sob a ótica da Análise Envoltória de Dados.....	75
5.5.1	Eficiência Técnica Pura.....	76
5.5.2	Eficiência de Escala.....	77
5.5.3	Eficiência de Congestionamento.....	78
5.6	Eficiência de Gestão.....	81
5.7	Modelos DEA Básicos.....	82
5.7.1	Modelo Aditivo.....	83
5.7.2	Modelos Orientados.....	89
5.8	Restrições aos Pesos.....	97
5.9	Algumas limitações na aplicação do Método DEA.....	100
5.10	Algumas aplicações de DEA aos transportes.....	101
5.11	Conclusões deste capítulo.....	104
6.	PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE EMPRESAS QUE OPERAM NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS.....	105
6.1	Introdução.....	105
6.2	Análise dos dados.....	105

6.3	Índices de Avaliação de Desempenho.....	112
6.3.1	PMA – Percurso Médio Anual.....	113
6.3.2	IAP – Índice de Aproveitamento.....	115
6.4	Estrutura do modelo DEA para o caso em análise.....	116
6.4.1	Software utilizado.....	116
6.4.2	Inputs e outputs.....	117
6.4.3	Características gerais do modelo.....	120
6.4.4	Restrições de pesos dos fatores de produção.....	121
6.5	Modelo DEA com retorno de escala constante.....	127
6.6	Modelo DEA com retorno de escala variável.....	130
6.7	Eficiência de escala.....	133
6.8	Eficiência de gestão.....	135
6.9	Conclusões deste capítulo.....	137
7.	BENCHMARKING DE EMPRESAS NÃO EFICIENTES	140
7.1	Introdução.....	140
7.2	Conceituação de Benchmarking.....	140
7.2.1	Definição de Benchmarking.....	142
7.2.2	Definição Operacional.....	144
7.2.3	Estrutura geral do processo de benchmarking.....	145
7.3	Benchmarking com Análise Envoltória de Dados.....	147
7.3.1	Passagem de uma DMU não eficiente para a fronteira de eficiência.....	147
7.3.2	Análise comparativa entre uma DMU não eficiente e seus pares eficientes.....	150
7.4	Exemplos de Benchmarking.....	155
7.4.1	Benchmarking da empresa São Geraldo.....	155
7.4.2	Benchmarking da empresa Catarinense.....	159
7.4.3	Comentários.....	163
8.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	164
8.1	Conclusões.....	164
8.2	Recomendações.....	166
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	167

APÊNDICE..... 175

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Problemas de programação linear, primal e dual, para o modelo aditivo com retornos de escala variáveis e constantes.	85
TABELA 2 – Problemas de programação linear, primal e dual, para o modelo com orientação para insumo com retornos de escala variáveis e constantes.	92
TABELA 3 – Problemas de programação linear, primal e dual, para o modelo com orientação para produto com retornos de escala variáveis e constantes.....	94
TABELA 4 – Informações sobre as vinte maiores empresas da amostra.	107
TABELA 5 – Inputs adotados no modelo DEA.	119
TABELA 6 – Eficiência total em função do porte da empresa.	129
TABELA 7 – Empresas tecnicamente eficientes (Modelo DEA/BCC).	131
TABELA 8 – Níveis de eficiência obtidos através da metodologia DEA.....	138
TABELA 9 – Empresas eficientes – referências de <i>benchmarking</i>	151
TABELA 10 – Quadro comparativo para <i>benchmarking</i> da empresa São Geraldo.....	156
TABELA 11 – Quadro comparativo para <i>Benchmarking</i> da empresa Catarinense.	160
TABELA 12 – As informações referentes às demais empresas.	175

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – A Fronteira de Produção e Eficiência Técnica	33
FIGURA 2 – Medidas de Eficiência Técnica de Debreu-Farrell.....	34
FIGURA 3 – Máxima Eficiência de Escala	35
FIGURA 4 – Isoquantas representando diferentes Níveis de Produção	36
FIGURA 5 – Ilustração de Eficiência Alocativa.....	37
FIGURA 6 – Mudanças em Eficiência Alocativa.....	39
FIGURA 7 – Retornos de Escala Constantes.....	45
FIGURA 8 – Retornos Crescentes de Escala.....	45
FIGURA 9 – Retornos Decrescentes de Escala.....	46
FIGURA 10 – A Função de Produção de Fronteira Estocástica da Função Cobb-Douglas.....	54
FIGURA 11 – Eficiência Técnica Total	76
FIGURA 12 – Eficiência de Escala.....	77
FIGURA 13 – Representação de Congestionamento.....	80
FIGURA 14 - Eficiência de Gestão.....	81
FIGURA 15 – Superfície Envoltória para o Modelo Aditivo para as Unidades.	88
FIGURA 16 – Faceta definindo o Hiperplano para o Modelo.	88
FIGURA 17 – Superfície Envoltória para o Modelo BCC orientado para insumo	93
FIGURA 18 – Superfície Envoltória para o Modelo BCC orientado para Produto	95
FIGURA 19 – Superfície Envoltória para o Modelo CCR orientado para Insumo.....	96
FIGURA 20 – Hiperplano Suportante para o Modelo CCR orientado para o Produto ...	96
FIGURA 21 – Relação entre produção acumulada e número acumulado de	

empresas.....	106
FIGURA 22 – Distribuição das empresas segundo a produção anual.	108
FIGURA 23 – Variação da quilometragem percorrida pela frota com o número de veículos.....	109
FIGURA 24 – Variação da extensão média de uma viagem com a frequência média semanal oferecida pela empresa.	110
FIGURA 25 – Variação do número de motoristas e a quilometragem anual percorrida pela frota.	111
FIGURA 26 – Distribuição da idade da frota.	112
FIGURA 27 – Distribuição estatística do PMA.	113
FIGURA 28 – Variação do PMA em função da idade da frota.....	114
FIGURA 29 – Variação do PMA em função da extensão média das viagens.	115
FIGURA 30 – Relação entre n° de motorista e n° de ônibus na frota.....	122
FIGURA 31 – Relação entre n° de linhas e quilometragem da frota.	123
FIGURA 32 – Relação entre a produção (PKM) e o número de linhas.	125
FIGURA 33 – Relação entre a produção (PKM) e o número de viagens (VIG).....	126
FIGURA 34 – Tabela Excel de entrada de dados para o software DEA-EMS.	127
FIGURA 35 – Tabela Excel de entrada das restrições de peso para o software DEA-EMS.	128
FIGURA 36 – Variação da eficiência total com o nível de produção anual.	130
FIGURA 37 – Variação da eficiência técnica com o nível de produção anual.....	132
FIGURA 38 – Variação da eficiência técnica com o nível de produção anual, escala logarítmica.	133
FIGURA 39 – Variação de eficiência de escala com o nível de produção anual.....	134
FIGURA 40 – Eficiência de gestão para as 98 empresas na faixa $1,0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$	136

FIGURA 41 – Processo genérico de <i>Benchmarking</i>	146
FIGURA 42 – Passagem de um ponto E de ineficiência para a fronteira de eficiência (Modelo BCC).	148
FIGURA 43 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 15).	152
FIGURA 44 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 455).	153
FIGURA 45 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 248).	154
FIGURA 46 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 454).	155

LISTA DE ABREVIATURAS

- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
- BCC – Modelo que recebeu o nome abreviado de Banker, Charnes e Cooper (1984)
- CCR – Modelo que recebeu o nome abreviado de Charnes, Cooper e Rhodes (1978)
- COD – Código das empresas de transporte interestadual de passageiros
- DEA – Análise Envoltória de Dados
- DER – Departamentos de Estrada de Rodagem
- DMU – Unidade de Tomada de Decisão
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- EPT – Elasticidade de Produção Total
- FPP – Fator de Produtividade Parcial
- FPT – Fator de Produtividade Total
- FRT – Frota (nº de ônibus) alocada pela empresa ao transporte interestadual de passageiros
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDF – Idade média da frota, em anos
- KM – Total de quilômetros percorrido anualmente pela frota da empresa
- LIN – Número de linhas interestaduais operadas pela empresa
- MOT – Número total de motoristas alocado ao transporte interestadual de passageiros
- PAX – Total anual de passageiros transportados
- PKM – Total anual de passageiros quilômetros transportados, incluindo todas as linhas da empresa
- REC – Retornos de Escala Constantes
- RECR – Retornos de Escala Crescentes
- RED – Retornos de Escala Decrescentes
- REV – Retornos de Escala Variável
- TRP – Transporte Rodoviário de Passageiros
- VIG – Número total de viagens realizadas pela empresa no ano

RESUMO

Hoje, as empresas regulares de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros, estão despreparadas para a competição de mercado com as empresas ilegais e de fretamento. Esta competição predatória, para conquistar os passageiros, reduz os níveis necessários de segurança e de confiabilidade operacional, em todo o sistema.

Observa-se que as empresas regulares precisam se reorganizar em termos de gestão tecnológica e operacional. Conhecer, em maior profundidade, os elementos tecnológicos, econômicos e operacionais que conduzem ao bom desempenho do setor. Isto lhes permitirá melhorarem seu desempenho, possibilitando, assim, ganhar competitividade no mercado.

Por outro lado, para o Órgão Regulador, a Agência Nacional de Transporte Terrestre – ANTT, um maior conhecimento dos fatores que favorecem o desempenho e a produtividade do transporte rodoviário interestadual de passageiros, permitirá a adoção de medidas que facilitem a evolução, garantindo também que os objetivos sociais sejam atingidos sem que haja degradação do sistema.

Motivado por esta realidade e utilizando a Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA), este trabalho tem como objetivo: primeiro, definir o desempenho (a fronteira máxima de produtividade) das Empresas de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros e identificar as empresas eficientes e as não eficientes e, em segundo, realizar o *Benchmarking* de algumas empresas ineficientes.

Palavras Chave: Serviço interestadual de ônibus, DEA, *Benchmarking*.

ABSTRACT

Today, regular interstate bus transportation companies in Brazil are unprepared for market competition, with the existence of unauthorized services and price dumping. This predatory competition to attract passengers generates non-satisfactory levels of safety and operational reliability throughout the system.

This is to say that regular companies need to reorganize themselves in terms of technological and operational performance in order to grow or even survive. Gaining a more in-depth understanding of the technological, economic and operational elements which should govern the performance of the sector. This will allow that the companies improve their performance, in enable to get competitively in the market.

On the other hand, to the Brazilian regulatory body, ANTT, a better knowledge of the factors that could improve the performance and productivity of the interstate bus transportation industry in Brazil would allow the adoption of measures aiming its upgrade, and at same time ensuring that the social objectives can be achieved without degradation of the system.

Grounded for this reality and with the employment of Data Envelopment Analysis (DEA), this study aims to: first, define the performance (maximum frontier of productivity) of the Interstate Bus Passenger Transport in Brazil, identifying the efficient and non-efficient companies; and, second, perform the benchmarking of some inefficient companies.

Keywords: Interstate bus transportation, DEA, Benchmarking.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros é um setor importante na integração e no desenvolvimento da economia nacional. O grau de importância desse serviço pode ser avaliado quando se observa que o transporte rodoviário por ônibus é a principal modalidade de movimentação coletiva de passageiros no território nacional.

O fato de ser um setor regulado pelo governo e enfrentar uma crescente concorrência do automóvel, principalmente nas distâncias mais curtas, e do avião, nas distâncias mais longas, faz com que o papel desempenhado pela regulação econômica adquira uma importância estratégica para a determinação dos rumos desse setor.

Nas últimas décadas, fatores como o aumento da competitividade intermodal e a expansão do transporte irregular, incentivaram a busca por eficiência na operação dos serviços por parte das empresas operadoras (Prado 2006).

Da mesma forma, o ganho de produtividade também é uma arma poderosa para atrair e manter a clientela, com melhores produtos e serviços a custos e preços menores. Os empresários devem buscar maiores índices de produtividade para conseguirem se manter num mercado tão competitivo, emergindo nessa perspectiva a seguinte questão: como medir na prática a produtividade e a eficiência?

Existe na extensa literatura dois grupos de métodos básicos para analisar a eficiência, e a produtividade, na utilização dos recursos produtivos de organizações ou empresas. Esses são conhecidos como *métodos paramétricos* e *métodos não paramétricos*. Em ambos os métodos, o objetivo é estimar uma fronteira relativa que corresponda ao máximo nível de produção, utilizando o mínimo de insumos.

Um dos *métodos não-paramétricos* clássicos é a Análise Envoltória de Dados – DEA (*Data Envelopment Analysis*) iniciada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), e Banker,

Charnes e Cooper (1984), com base nos primeiros trabalhos de Farrell (1957). Os resultados do DEA são geralmente mais detalhados do que os obtidos na abordagem paramétrica, servindo melhor ao embasamento de recomendações de natureza gerencial.

No âmbito gerencial, o *Benchmarking* é atualmente um dos mais modernos instrumentos de gerência, o qual possibilita a melhoria do desempenho técnico-econômico das empresas de forma comparativa. Parte-se do pressuposto de que as empresas de um mesmo setor apresentam atividades semelhantes, com padrões que podem ser aplicados a todas elas. Algumas dessas empresas conseguem combinar melhor seus insumos, utilizando processos e técnicas de gestão mais aprimoradas e gerando produtos (outputs) com maior eficiência. Essas empresas servem, então, de referência para as demais, que devem rever os seus processos de forma a caminhar no sentido de um melhor desempenho gerencial.

O DEA tem sido utilizado também para dar subsídios para a realização do *Benchmarking* das unidades ineficientes, para isso relacionando-as aos grupos de referência (*peers*) formados por unidades eficientes (Banker, Charnes e Cooper, 1984; Kao,1994). Trata-se de uma poderosa ferramenta para definir estratégias para o *Benchmarking*, com a finalidade de indicar linhas de ação para tornar eficientes as empresas ineficientes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos gerais

A partir desse contexto, o presente trabalho tem como propósito essencial analisar a eficiência e a produtividade, em termos de faturamento, de um conjunto amostral expressivo de empresas de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros do País. Para tanto, é utilizada uma metodologia híbrida, a partir das técnicas de Análise Envoltória de Dados (DEA), Função de Produção e *Benchmarking*.

1.2.2 Objetivos específicos

Este trabalho de pesquisa consiste na análise do setor de transporte rodoviário interestadual de passageiros, cumprindo-se os seguintes objetivos:

- Propor e descrever uma metodologia para a avaliação da eficiência de empresas e organizações em geral;
- Demonstrar a viabilidade da metodologia proposta, através de uma aplicação prática a uma amostra expressiva de empresas de transporte rodoviário interestadual de passageiros;
- Determinar a eficiência total, técnica e de escala de cada empresa, utilizando a técnica DEA;
- Identificar as empresas eficientes e ineficientes e submeter algumas empresas ineficientes à análise de *Benchmarking*.

1.3 Justificativas

O ambiente protegido em que prosperaram as empresas operadoras do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros tornou-as despreparadas para a competição.

A competição que ocorre na prática, mas de uma maneira não planejada, caracterizada por uma queda progressiva dos níveis de qualidade e por uma competição feroz por parte dos operadores ilegais e de fretamento, que não compartilham dos mesmos custos e responsabilidades do operador regular.

Esta competição predatória para conquistar os passageiros reduz os níveis necessários de segurança e de confiabilidade operacional em todo o sistema.

Esses e outros fatores estão contribuindo para que as empresas operadoras do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros busquem se reorganizar em termos de gestão tecnológica e operacional.

Nesse contexto, é de fundamental importância conhecer em maior profundidade os elementos tecnológicos, econômicos e operacionais que governam o desempenho das empresas eficientes do setor.

Esse conhecimento permitirá que as empresas operadoras melhorem seu desempenho, possibilitando, assim, ganhar competitividade no mercado. Para o governo e os órgãos reguladores, um maior conhecimento dos fatores que governam o desempenho e a produtividade do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros permitirá a adoção de medidas que favoreçam sua evolução, permitindo que os aspectos sociais sejam atingidos sem que haja degradação no sistema.

Este estudo visa, ainda que parcialmente, analisar o processo para consecução desses objetivos.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está estruturado em oito capítulos, da seguinte forma:

A introdução, apresentada neste capítulo, tem por finalidade contextualizar o tema da pesquisa, bem como descrever os objetivos, as justificativas e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo são relatadas as principais informações sobre o transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil. Os aspectos abordados são: a evolução do transporte no Brasil, a organização institucional e a estrutura do mercado.

No terceiro capítulo são apresentados os conceitos, as medidas e os modelos de Produtividade e de Eficiência.

No quarto capítulo são apresentadas as técnicas paramétricas para medir a produção e a eficiência.

No quinto capítulo é apresentada uma técnica não-paramétrica para medir a produção e a eficiência, a Análise Envoltória de Dados.

No sexto capítulo é apresentada a estrutura do modelo DEA, bem como os respectivos cálculos, seguidos das análises de produtividade e eficiência da amostra de empresas que operam no transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil.

No sétimo capítulo é apresentado o *Benchmarking* de duas empresas não eficientes que operam no transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil.

No oitavo capítulo descrevem-se as conclusões sobre o desenvolvimento do trabalho, destacando-se as contribuições e as limitações, seguidas de recomendações para trabalhos futuros.

Em seguida são apresentados: o referencial bibliográfico utilizado na elaboração e consecução da pesquisa efetuada e no apêndice a lista de todas as empresas que operam no transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil.

2. TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS NO BRASIL

2.1 Introdução

A implantação generalizada do modelo rodoviário no Brasil ocorreu da década de 1950. Fundamentou-se na crença de que as estradas de rodagem ofereceriam o acesso mais democrático e seriam as mais adequadas à ocupação territorial brasileira, uma vez que um país de poucos recursos e baixo nível de industrialização poderia se expandir mais rapidamente seguindo essa estratégia de estruturação da matriz de transporte.

O material deste capítulo é baseado principalmente em Prado (2006), Castro (2003), e Silva (1996).

2.2 Evolução do transporte no Brasil

Durante a segunda fase republicana (1930-1960), o Brasil estava pronto para se livrar da dependência da exportação de bens primários e introduzir uma política de industrialização baseada nas necessidades do mercado interno.

Esta política, denominada de “política da substituição das importações”, foi impulsionada fortemente pelo regulamento protetor intervencionista do Estado, sendo coincidente com a ascensão da indústria automotiva em todo o mundo.

A partir do momento em que os bens anteriormente importados passaram a ser manufaturados no Brasil, cresceram as necessidades de uma rede de transportes nacional para a distribuição de mercadorias.

A política pública foi dirigida então para cumprir estas necessidades, tendo favorecido a ascensão de uma modalidade de transporte cuja oferta e equipamentos poderiam ser

ajustáveis a uma demanda crescente para o transporte dos bens, ou seja, o transporte rodoviário.

As estradas poderiam ser implantadas de uma maneira mais intensa, pois requeriam recursos menos volumosos do que as estradas de ferro. Além disso, os fundos para a construção de estradas baseados em impostos sobre o consumo de combustível, eram aceitos mais facilmente desde que fossem canalizados diretamente para a provisão de mais e de melhores estradas.

Com relação ao transporte interurbano de passageiros, a fatia de mercado das estradas de ferro em 1950 correspondia a 30% dos deslocamentos, comparado com os já 62% nas mãos dos operadores rodoviários.

No período que vai de 1960 a 1995, as estradas de ferro se mantiveram em progressivo processo de deterioração. Cerca de 25% da extensão da rede férrea foi posta fora de serviço em 35 anos, sendo que a parte do mercado interurbano de passageiros por estrada de ferro diminuiu, até chegar a valores residuais.

Assim, os ônibus tornaram-se absolutamente hegemônicos em todos os mercados de transporte de passageiros no Brasil.

Apesar da franca evolução nas últimas décadas, o transporte aéreo ainda não é uma opção praticável para a maioria da população brasileira. Assim, a maioria das pessoas continua dependente dos serviços oferecidos por operadoras de ônibus em nível interestadual.

Além do fator econômico, o Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros apresenta níveis de capilaridade e de acessibilidade imbatíveis, quando comparado com o aéreo.

2.3 Organização Institucional

A exploração, diretamente ou mediante autorização ou permissão, do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros (TRIP) é competência da União conforme Art. 21 da Constituição Federal.

A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) é o órgão regulador de atividade de exploração da prestação de serviço de transportes terrestres. Cabe a ANTT fiscalizar e celebrar os contratos de permissão da prestação de tais serviços do TRIP (BRASIL, 2001).

A Resolução N°16 (ANTT, 2002) define o conceito de linhas como sendo o *“serviço de transporte coletivo de passageiros executado em uma ligação de dois pontos terminais, nela incluídos os seccionamentos e as alterações operacionais efetivadas, aberto ao público em geral, de natureza regular e permanente, com itinerário definido no ato de sua outorga”*.

Os pontos terminais são os pontos extremos do itinerário de uma linha onde se dará o início ou término das viagens.

O itinerário das linhas é o percurso a ser utilizado na execução do serviço, podendo ser definido por códigos rodoviários, nomes de localidades ou pontos geográficos conhecidos.

O serviço de natureza regular e permanente indica que a empresa permissionada deve obedecer a horários preestabelecidos e de forma continua.

Os conceitos, pontos de seção, ponto de apoio e ponto de parada também são importantes para a caracterização da linha.

O ponto de seção é uma localidade, entre os municípios de origem e destino, onde é permitida à empresa a venda de passagens para o embarque de passageiros na linha.

O ponto de apoio é o local destinado a reparos, manutenção e socorro de veículos em viagens e atendimento da tripulação.

O ponto de parada é o local de parada obrigatória, ao longo do itinerário, de forma a assegurar, no curso da viagem e no tempo devido, alimentação, conforto e descanso aos passageiros e às tripulações dos ônibus (ANTT, 2002).

As linhas de transporte interurbano de passageiros podem ser classificadas de acordo com a sua jurisdição em:

- **Intermunicipal:** é o transporte de passageiros que transpõe os limites dos municípios, sem ultrapassar os limites do Estado;
- **Intermunicipal semi-urbano (metropolitano):** é aquele realizado entre municípios de regiões metropolitanas, ou entre municípios vizinhos quaisquer quando a linha atravessar região com elevada densidade populacional, a critério do poder cedente (Ceará, 2001);
- **Interestadual:** que transpõem os limites de Estado, do Distrito Federal ou de Território;
- **Interestadual semi-urbano:** aquele que, com extensão ou inferior a setenta e cinco quilômetros e característica de transporte rodoviário coletivo urbano, transpõe os limites de Estado, do Distrito Federal ou de Território;
- **Internacional:** o que transpõe as fronteiras nacionais.

A organização institucional do transporte rodoviário de passageiros está ao encargo das autoridades estaduais e do Governo Federal. Para o caso do transporte dentro dos estados da federação, a responsabilidade é dos Governos Estaduais, através das Agências de Regulação Regionais.

Devido ao tamanho dos territórios dos estados, uma parte substancial do transporte de passageiros intermunicipal pode ser considerada como integrante do mercado interurbano do transporte, mas que difere dos mercados urbanos e metropolitanos de transportes.

No caso das ligações regionais, isto é, entre estados do país, é o Governo Federal, através da Agência Nacional de Transporte Terrestre, responsável pela regulação e fiscalização da atividade (Brasileiro, et al, 2001, apud Prado, 2006).

Em ambos os casos, a estrutura regulatória do transporte rodoviário de passageiros é baseada no conceito legal de serviço público (Brasileiro e Aragão, 2000), segundo o qual a operação das rotas é delegada pelo governo aos operadores privados através de permissão e concessão.

Até a década de 1990, as características essenciais de ambos os regulamentos federal e estadual estavam alinhadas com a longa tradição brasileira relativa à prática de concessões no setor de transporte. A esse respeito alguns aspectos devem ser considerados (Prado, 2006):

- Uma única rota é concedida a um único operador (nem sempre);
- A autoridade pública define os preços da passagem, com base em uma planilha de custo padrão e de uma estimativa da ocupação média do veículo (uma porcentagem dos assentos);
- Os contratos de permissão devem ser concedidos através de um processo licitatório que, muitas vezes, não ocorre. De fato, as rotas novas são muitas vezes delegadas ao operador que serve tradicionalmente a área respectiva, e o contrato é renovado periodicamente sem nenhuma negociação ou exigência adicional por parte das autoridades de tutela, com relação à definição e acompanhamento de níveis mínimos de desempenho operacional.

2.4 Estrutura do Mercado

As empresas operadoras do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros desenvolveram uma cultura organizacional particular.

Diferente da situação estabelecida em outros países na América Latina, elas não emergiram dos sindicatos e das cooperativas. De fato, são empreendimentos familiares, característica observada também em outros ramos de serviços e da indústria. Mas essa estrutura parece estar se transformando (Brasileiro, *et al*, 2001, apud Prado, 2006).

Em 2006, o Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros englobava 222 empresas privadas, operando 3.057 linhas, sendo responsáveis pela circulação de mais de 15.616 ônibus, transportando 95% da quantidade total dos passageiros e empregando cerca de 25.101 motoristas (ANTT - Anuário Estatístico 2007 - Ano Base 2006). Mais de 50% da frota pertence a 1,8% das empresas. O grupo formado pelas

quatro maiores companhias sozinho possui mais de 30% da frota total. A concentração geográfica também pode ser observada: em torno de 60% da frota tem sua base operacional na região sudeste, a mais industrializada do país (Brasileiro e Henry, 1999, apud Prado, 2006).

Este processo de concentração pode primeiramente ser explicado pelo fato de que as operadoras do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros funcionam há muito tempo num mercado fortemente protegido.

Ainda hoje, empresas privadas de ônibus se consideram proprietárias de suas rotas, sendo os mercados regionais operados de forma monopolista, apesar do complexo ambiente de competitividade de mercado, apoiado no transporte ilegal, concorrência modal e obstáculos da regulação.

O ambiente de competição, no qual o Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros está inserido, se mostra complexo à medida que se demandam ajustes econômicos, políticos e técnicos para atingir um ponto de equilíbrio na produção de serviços (Prado, 2006).

Aragão, *et al*, (2000) ressaltam que atualmente os operadores ilegais estão crescentemente tirando uma parte ativa do mercado nacional de transporte de passageiros. E este fenômeno, de grande importância, está mudando progressivamente a estrutura familiar, monopolista e protegida da indústria de transporte em ônibus no Brasil.

Foi observado ainda que, nos últimos anos, acentuou-se a queda no preço das passagens aéreas do tipo “low fare, low cost”, bem como no custo da posse de automóvel.

Conclui-se que, de fato, essas reduções do custo das modalidades concorrentes, associadas ao transporte ilegal, podem afetar a demanda pelo Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros a médio e longo prazo (Castro, 2003).

3. PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA: CONCEITOS, MEDIDAS E MODELOS

3.1 Introdução

Os conceitos de produtividade e eficiência formam a base para o estudo do desempenho de empresas e organizações. Outro termo muito em voga na literatura é *benchmarking*, conceito esse que será apresentado e discutido no sétimo capítulo.

Boa parte deste capítulo seguiu de perto o trabalho de Azambuja (2002), visto que o desenvolvimento deste assunto é clássico e relativamente antigo, não havendo aspectos novos a referir e discutir.

De fato, a contribuição deste trabalho está centrada na aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA). No entanto, o método DEA está intimamente relacionado com os conceitos e processos de medida da produtividade e da eficiência, daí a inclusão do presente capítulo na dissertação.

3.2 Produtividade

Segundo Moreira (1991), para se conceituar produtividade é conveniente referi-la a um sistema de produção. Assim, um sistema de produção é um conjunto de partes que operam de forma combinada e harmônica para transformar insumos em produtos ou serviços.

Vários autores definem a produtividade de um sistema de produção como sendo a relação de transformação comparativa, envolvendo seus insumos e produtos, ou seja, levam em conta a forma como a relação insumo-produto muda ao longo do tempo e/ou difere entre empresas ou indústrias.

Lovell (1993) afirma que a produtividade varia devido a diferenças em termos da tecnologia de produção, da eficiência do processo de produção, e do ambiente em que ocorre a produção.

Na visão de Moreira (1991) e Oum et al. (1992), existem diferentes razões para se medir produtividade:

- Uma forma é usá-la como ferramenta gerencial, para verificar efeitos de alterações organizacionais, ou de introdução de novos processos de produção, para apoiar reformas no *layout*, e introdução de novas técnicas gerenciais dentro e fora da produção. Ou para estabelecer programas de eliminação de refugos e desperdícios, ou ainda programas de treinamento de pessoal, políticas de investimentos, como também para avaliar abertura de novos mercados ou introdução de novos produtos, entre tantas outras possibilidades.
- Como instrumento de motivação, isto é, como elemento orientador de estímulos para que funcionários e gerentes passem a tomar decisões focalizando aspectos de eficácia;
- Como forma de prever necessidades futuras de mão-de-obra, isto é, partindo-se de previsão quanto à expansão na demanda e tendências de aumento na produtividade, pode-se determinar a força de trabalho necessária para atender à produção, face à tecnologia empregada;
- Para comparar o desempenho de indivíduos ou departamentos em uma mesma empresa, ou entre as empresas de uma indústria, ou entre indústrias, e\ou até mesmo entre países, utilizando indicadores de desempenho;
- Para comparar o desempenho de unidades de uma mesma empresa, dispersas em diferentes localizações geográficas;
- Para verificar a influência da produtividade sobre os preços, tanto para empresas como para o setor político público. Com relação a interesses públicos, em longo prazo, mercados competitivos resultam em ganhos de produtividade que são repassados ao consumidor;
- Para medir o desempenho de uma empresa ou indústria ao longo do tempo;

- Para comparar o desempenho de empresas/indústrias sob regimes políticos públicos alternativos, por exemplo, regulamentação e/ou propriedade do governo.

Os economistas acreditam que mudanças na habilidade produtiva, associadas à adoção de novos conhecimentos tecnológicos, nova organização gerencial ou novas políticas industriais, indicam expectativa de melhoria do desempenho a longo prazo.

Existem várias medidas de produtividade parciais, em que o aumento do produto é comparado com o aumento de alguns, mas não todos os insumos. Um problema das medidas de desempenho em nível parcial é que essas consideram somente um subconjunto de insumos usados pela empresa e, algumas vezes, somente um subconjunto dos produtos, para retratarem os ganhos ou perdas totais na produtividade.

Outro problema das medidas parciais é que freqüentemente falham ao levar em conta a natureza não homogênea dos insumos e produtos. Além disso, o aumento em alguns produtos não garante que a empresa será mais eficiente no todo.

Por isso, os economistas investem em medidas nas quais modificações em todos os produtos estão associadas às modificações em todos os insumos. Uma destas medidas é conhecida como Fator de Produtividade Total.

3.2.1 Fator de Produtividade Total

O Fator de Produtividade Total mede mudanças observadas no produto total, e relativamente às mudanças observadas no uso de todos os insumos.

Os termos Fator de Produtividade Parcial (FPP) e Fator de Produtividade Total (FPT) são, respectivamente, medidas de ganhos de produtividade associadas às mudanças num insumo particular, mantidos os demais insumos constantes; ou mudanças num índice de produto agregado devido às alterações num índice de insumo agregado.

Em ambos os casos o objetivo da análise é estimar a taxa de mudança no conjunto de possibilidades de produção e averiguar se ela resulta de oscilações no nível e no mix dos insumos usados, produtos obtidos ou custos operacionais.

A vantagem do FPT em relação ao FPP, é que o primeiro considera todos os insumos analisados simultaneamente. Assim, todas as interações entre os vários insumos são consideradas no cálculo de produtividade.

Esta formulação origina duas dificuldades: a primeira, que se observa quando a produção é de multi-produtos, diz respeito à forma como são agregados todos os produtos num único índice de produto; a segunda se prende às dificuldades de interpretar a produção sob diferentes condições de economia de escala (Berechman, 1993).

Para isso, existem várias abordagens para a medida do FPT que levam a diferentes resultados e interpretações. Diewert (1989) (apud Oum et al., 1992) identificou algumas destas abordagens, classificando-as como não-paramétricas ou paramétricas:

- As abordagens não-paramétricas são aquelas onde a produtividade é medida por números-índices. Estes números-índices são definidos a partir de quantidades diretas de insumos e produtos e/ou custos e receitas. Entre os vários números-índice existentes, pode-se citar: Índice da Quantidade Direta; Receitas Deflacionadas por Gastos de Custo Deflacionados; Índice da Quantidade de Produto dividido pelo Índice de Gastos Deflacionados; Receitas Deflacionadas divididas pelo Índice de Quantidade de Insumo Direto; Relação de Preço Produto-Insumo de Jorgenson-Griliches; Mudanças em Coeficientes Técnicos.;
- As abordagens paramétricas são aquelas onde se tenta especificar uma relação funcional entre produto e insumos analisados, bem como estimar a significância estatística deste conjunto de dados. As duas abordagens paramétricas mais utilizadas são:
 1. **Função de Produção:** tenta-se definir a relação funcional entre as quantidades de insumos utilizadas para a produção de uma determinada quantidade de produto. Como se desconhece a função de produção que melhor representa

esta relação é preciso definir seus parâmetros, estimando-os estatisticamente. Como a estimação da função de produção pode apresentar algumas dificuldades teóricas e empíricas, segundo Berekman (1993), é mais conveniente estimar a função custo, que pode conter toda a informação relevante da estrutura de produção;

2. **Função Custo:** esta abordagem tenta definir a relação funcional entre produto e insumo, através de seus respectivos preços. A função custo é definida como a função que especifica os custos mínimos para produzir um dado nível de produção, frente a determinado vetor de preços para os insumos. A abordagem da função custo é o dual da abordagem da função de produção.

Uma vantagem da abordagem paramétrica para medidas de produtividade é a possibilidade de se realizar testes estatísticos para verificar o grau de significância das variáveis incluídas no modelo.

Um modelo de otimização de alocação de recursos também pode ser utilizado para derivar medidas de fator de produtividade parcial e total. Essas medidas então são correlacionadas com indicadores de desempenho para verificar as melhores formulações em termos de poder preditivo.

3.3 Eficiência

Segundo Farrell (1957), quando alguém fala da eficiência de uma empresa, geralmente se refere ao seu grau de sucesso, no esforço de gerar determinada quantidade de produto, a partir de um dado conjunto de insumos.

Segundo Lovell (1993), a eficiência de uma unidade de produção resulta da comparação entre o valor observado e o valor ótimo, em suas relações insumo-produto.

A comparação se faz entre o produto observado e o máximo produto potencial alcançável para os insumos utilizados, ou a partir do insumo mínimo potencial

necessário para produzir dado nível de produto, pelo insumo observado, ou, ainda, alguma combinação dos dois.

Nessas comparações, mede-se a eficiência técnica, e o ótimo é definido em termos de possibilidades de produção. Também é possível definir o ótimo em termos do objetivo comportamental da unidade de produção. Neste caso, trata-se da eficiência econômica, que é medida comparando custos, receitas e lucros observados, em relação a padrões ótimos.

Assim, a eficiência produtiva tem duas componentes: a componente puramente técnica, que se refere à habilidade de evitar desperdícios produzindo tanto produto quanto o uso dos insumos permite (ou usando o mínimo de insumos que viabiliza aquela produção), e a componente alocativa, dependente dos preços, que se refere à habilidade de combinar insumos e produtos em proporções ótimas, de acordo com os preços dominantes.

Segundo Pearson (1993), a eficiência técnica mede a proximidade entre a quantidade de produto produzida por uma empresa e a quantidade máxima de produtos que aquela empresa poderia gerar, dado o nível de insumos que pratica (ou usando a mínima quantidade de insumos suficiente para produzir determinado nível de produto).

A eficiência alocativa reflete se a empresa está empregando mix de insumos de custo mínimo, para produzir o nível observado de produto, dados os preços relativos praticados.

Para ilustrar a eficiência técnica, considera-se o caso mais simples, onde existe somente um insumo e um produto, isto é, pode-se observar uma única relação insumo e produto. O conjunto de possibilidades de produção para uma empresa será definido pelo espaço que aquela relação permite cobrir.

Assumindo que Z é a função de produção para uma indústria, o conjunto de possibilidades de produção é limitado superiormente pelos pontos que definem a função de produção, isto é, que delineiam a fronteira e formado por estes pontos e todos aqueles situados abaixo da fronteira, FIGURA 1. Se a empresa está sobre a

fronteira, ela é tecnicamente eficiente; caso contrário, isto é, se ela está abaixo da fronteira, ela é tecnicamente ineficiente.

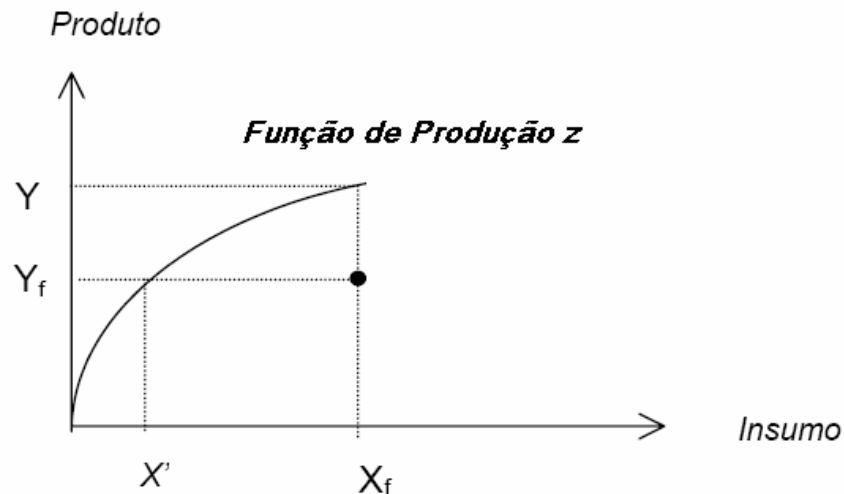


FIGURA 1 – A Fronteira de Produção e Eficiência Técnica

Fonte: Pearson (1993)

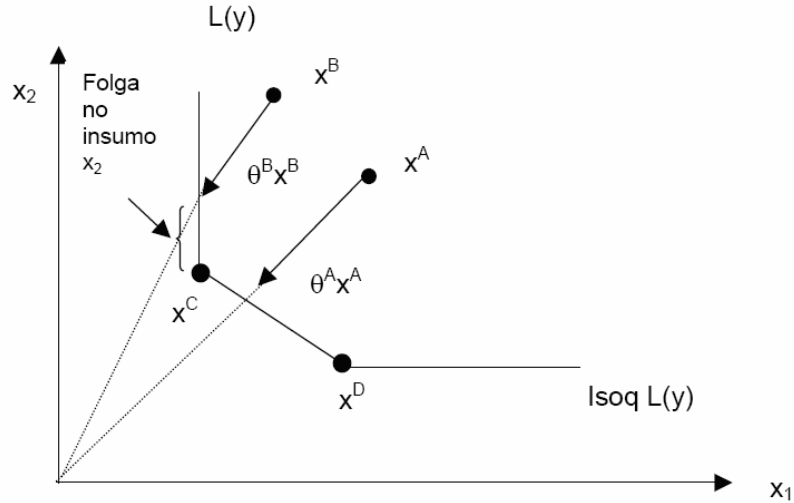
Neste caso, a empresa poderia produzir seu produto usando menor quantidade de insumos, ou, ainda, dados seus insumos, poderia produzir maior quantidade de produtos (Pearson, 1993). A empresa operando no ponto (X_f, Y_f) é tecnicamente ineficiente.

Existem duas abordagens para medir a eficiência desta empresa. Primeiramente, a abordagem de minimização aplicada aos insumos. Nesta, a eficiência técnica é medida como a taxa do mínimo insumo potencial necessário para produzir o presente produto (isto é, o insumo determinado pela fronteira) relativamente ao uso real daquele mesmo insumo.

Segundo, a abordagem de maximização de produto, onde a eficiência técnica é medida como a taxa de produto real em relação ao máximo produto potencial, que seria obtido se a empresa estivesse sobre a fronteira da melhor prática. Para as duas abordagens, a eficiência técnica é sempre ≤ 1 . Uma medida de eficiência "igual a 1" significa que a empresa é tecnicamente eficiente (Pearson, 1993).

As duas medidas de eficiência técnica são ilustradas na FIGURA 2, considerando mais de um insumo (FIGURA 2-a) e mais de um produto (FIGURA 2-b) (Lovell, 1993):

a) sob o ponto de vista de insumos:



b) sob o ponto de vista de produtos:

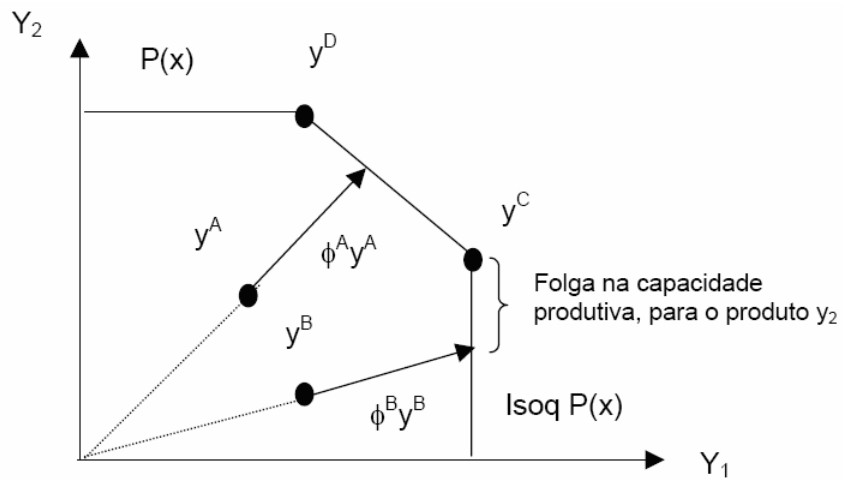


FIGURA 2 – Medidas de Eficiência Técnica de Debreu-Farrell

Fonte: Fried et al. (1993)

Na figura orientada para insumo (FIGURA 2-a), os vetores de insumos x^A e x^B podem ser contraídos radialmente (reduzir o consumo de insumos) e ainda permanecerem

capazes de produzir o vetor produto y . Já os vetores de insumo x^C e x^D , que estão sobre a fronteira de produção não apresentam esta possibilidade.

Observa-se que o vetor de insumo $\theta^B x^B$, mesmo depois de ser contraído radialmente até a fronteira, ainda estará utilizando quantidade desnecessária do insumo x_2 (apontará folga no insumo x_2).

Assim, este vetor é considerado fracamente eficiente, pois a empresa poderia obter idêntico produto eliminando aquelas folgas. Tal problema não ocorre com o vetor de insumo $\theta^A x^A$. A FIGURA 2-b, que deve ser interpretada de forma análoga, representa a medida de eficiência orientada para produto (Lovell, 1993).

Segundo Coelli *et al.* (1998), a distinção entre eficiência técnica e produtividade pode ser ilustrada através da FIGURA 3.

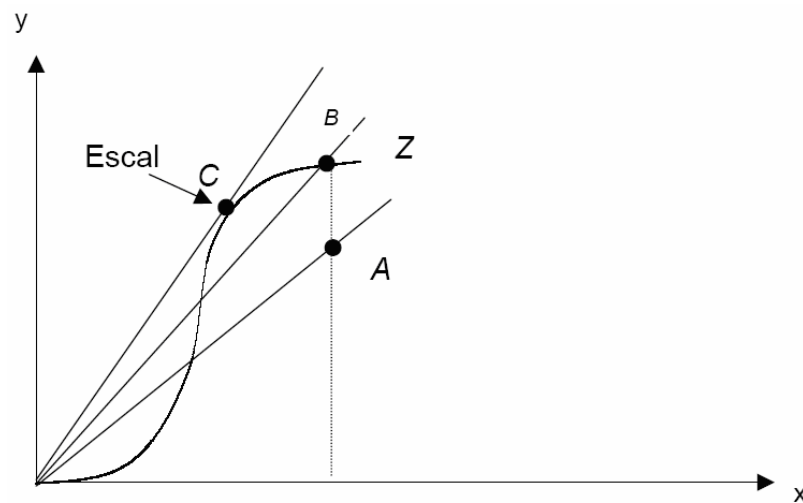


FIGURA 3 – Máxima Eficiência de Escala

Fonte: Coelli et al. (1998)

Na FIGURA 3, a reta que passa pela origem mede sucessão de pontos com idêntica produtividade, o que permite compará-los. A inclinação desta reta é dada pela relação $\frac{y}{x}$, e fornece uma medida de produtividade. Se uma empresa operando no ponto A se

movesse para o ponto B, que é tecnicamente eficiente (está sobre a função de produção), a inclinação da reta aumentaria indicando maior produtividade.

Contudo, movendo-se para o ponto C, a empresa encontraria relação de produtividade expressa por reta tangente à fronteira de produção e que, assim, define o ponto de máxima produtividade possível. O ponto C é o ponto de escala (tecnicamente) ótima, pois qualquer deslocamento deste ponto, acompanhando a fronteira de produção, levará a deseconomias de escala.

Assim, conclui-se que uma empresa tecnicamente eficiente pode ainda melhorar sua produtividade explorando economias de escala.

A eficiência alocativa é uma medida que permite avaliar se determinada empresa está empregando combinação de insumos que minimize os custos, para um dado nível de produto.

Para ilustrar estes conceitos, em vez de usar uma função de produção, será examinado um diagrama de isoquantas, apresentados na FIGURA 4.

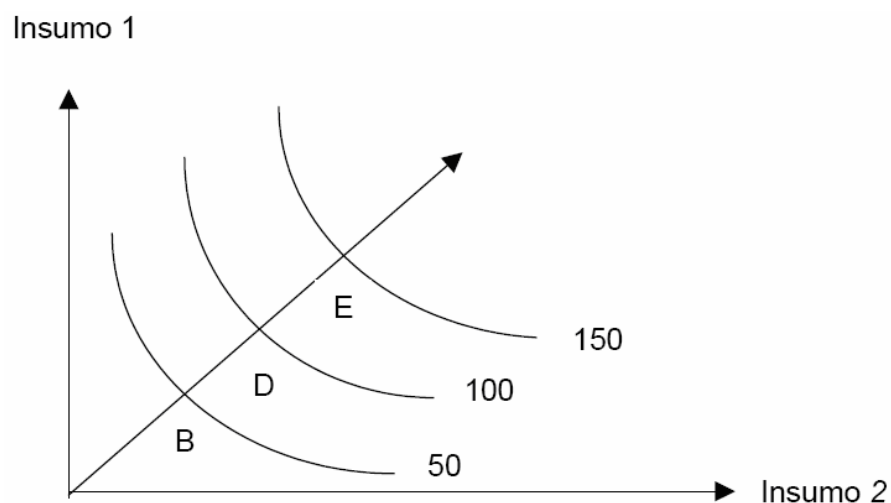


FIGURA 4 – Isoquantas representando diferentes Níveis de Produção

Fonte: Mansfield (1980)

Conhecida a função de produção, pode-se de imediato derivar a isoquanta relativa a qualquer nível de produção.

Na FIGURA 4 são apresentadas algumas isoquantas representando diferentes níveis de produção.

Os dois eixos da FIGURA 4 medem as quantidades utilizadas de insumos. As curvas indicam as várias combinações de insumos que podem produzir 50, 100 e 150 unidades do produto. O raio OBDE descreve todas as combinações de insumos em que a relação insumo1/insumo2 é constante.

Observa-se que, embora a quantidade absoluta de cada insumo aumente à medida que o raio se move em direção a níveis mais altos de produção, a relação entre os insumos permanece inalterada.

A FIGURA 5 representa, através de uma isoquanta, a eficiência alocativa.

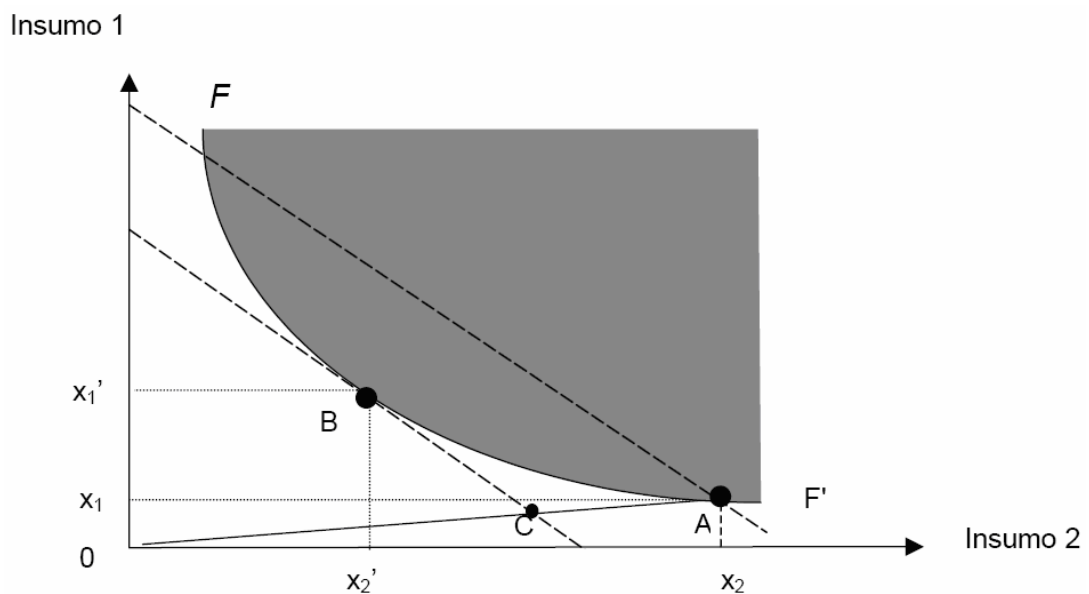


FIGURA 5 – Ilustração de Eficiência Alocativa

Fonte: Pearson (1993)

Na FIGURA 5, a empresa A usa insumos x_1 e x_2 para produzir uma dada quantidade de produto. Todas as diferentes combinações de insumos possíveis, que poderiam produzir aquela quantidade de produto, ficam sobre a fronteira FF' , ou na região sombreada. As combinações de insumos tecnicamente eficientes ficam sobre a

fronteira, enquanto aquelas que são tecnicamente ineficientes ficam sobre a região sombreada.

A empresa A é tecnicamente eficiente porque está produzindo sobre a fronteira, mas é alocativamente ineficiente porque produz a custos mais elevados que os observados em B. A linha tracejada indica todas as combinações de insumos possíveis, que apresentam o mesmo custo (a inclinação da linha é a relação negativa dos preços dos insumos), e é denominada curva de isocusto.

Deste modo, embora a empresa A seja tecnicamente eficiente, a empresa B (que também é tecnicamente eficiente) está produzindo a mesma quantidade de produto a custos inferiores. A medida desta eficiência alocativa é fornecida pela taxa da distância OC em relação à OA.

Farrell (1957) mostra que a isoquanta é convexa em relação à origem e, em nenhuma parte, apresenta inclinação positiva. Esta condição de convexidade permite afirmar que se dois pontos na prática são alcançáveis, então existirão outros pontos, também viáveis, representando combinações dos primeiros.

Assim, qualquer empresa observada pode ser comparada com uma empresa hipotética cuja eficiência técnica será estimada como resultado de uma média ponderada envolvendo duas empresas situadas na fronteira (pertencentes a isoquanta). Os pesos adotados nesta ponderação serão escolhidos de forma a assegurar representações, na projeção, das proporções dos fatores, coerentes com suas proporções observadas nas duas empresas de referência, que estão sobre a isoquanta.

Em estudos de produtividade de transporte, a eficiência técnica é determinada comparando a quantidade real de insumos usados na produção dos serviços de transporte (exemplo: trabalho), com aquela quantidade considerada suficiente para obter o nível de produto desejado.

A eficiência alocativa é uma medida da quantidade real de um recurso usado, em relação ao seu nível de eficiência alocativa, isto é, em relação ao ponto onde os custos totais de produção são minimizados (ponto B e C na FIGURA 5) (Berechman, 1993).

É de se esperar que, ao longo do tempo, os níveis de produtos, insumos e custos de produção mudem em resposta às condições de produção e demanda verificadas interna ou externamente às empresas. Essas mudanças são representadas por alterações na curva isoquanta de produto, na linha de isocusto, ou em ambas. A FIGURA 6 ilustra estes casos.

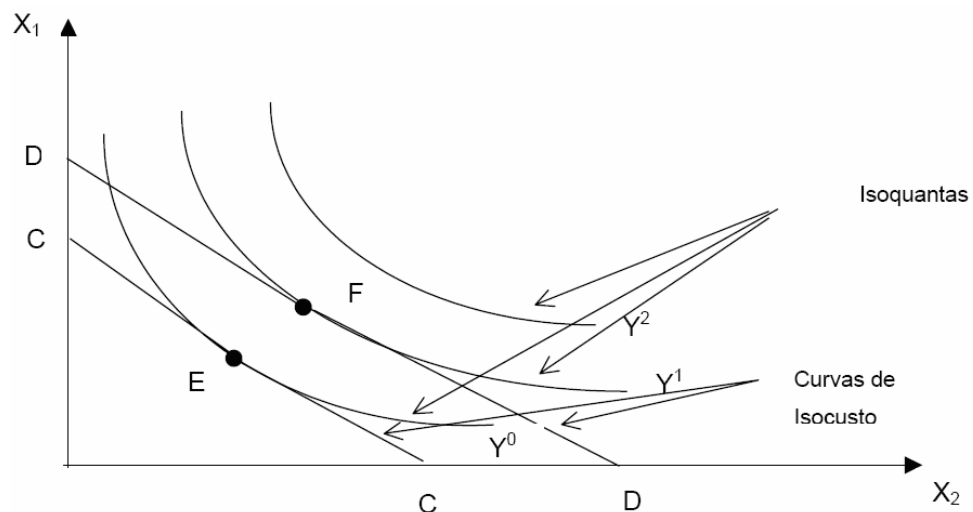


FIGURA 6 – Mudanças em Eficiência Alocativa

Fonte: Berechman (1993)

Na FIGURA 6, as curvas de isoquanta Y^0 , Y^1 e Y^2 representam diferentes níveis de produção, enquanto as linhas de isocusto D-D e C-C representam os preços relativos para dois insumos, X_1 e X_2 . Mostra que, quando o nível de produção se altera, passando, no exemplo, Y^0 de para Y^1 , encontra-se um novo ponto de eficiência alocativa (ponto F).

Segundo Berechman (1993), para medir de forma apropriada essas mudanças, e seus impactos sobre a eficiência, é necessário considerar a possibilidade de substituição de fatores e as economias de escala, propriedades estruturais que afetam a eficiência alocativa da empresa.

A possibilidade de substituição de fatores implica que a empresa pode substituir um insumo por outro, alterando as relações entre, por exemplo, trabalho e capital, expandindo o segundo pela incorporação de novos equipamentos e reduzindo o

primeiro pelo enxugamento do quadro de pessoal. Portanto, as mudanças observadas nos fatores utilizados pela empresa refletem, em parte, sua tecnologia de produção.

Berechman (1993) ainda salienta que, geralmente, as empresas de transporte produzem vários serviços. Isto origina duas dificuldades analíticas para a medida correta de produtividade.

Primeiro, a produção de múltiplos produtos implica que não se pode falar em uma única curva de isoquanta, mas sim em um plano de isoquantas. O resultado é uma curva descrevendo uma superfície composta por uma sucessão de pontos de eficiência alocativa e não um único ponto tal como o ponto B da FIGURA 5.

Segundo, se cada produto é produzido sob diferentes condições em termos de economias de escala, é necessário levar em conta àquelas diferenças, relativamente a cada produto, para que se possa medir corretamente a eficiência técnica e alocativa da empresa como um todo.

Em muitos estudos, este tipo de abordagem agrega todos os produtos em uma única medida. Embora facilitando a estimação empírica, este procedimento pode obscurecer a efetiva produtividade de uma empresa, visto que ela pode se mostrar eficiente na produção de alguns produtos, e ineficiente na produção de outros.

Segundo Farrell (1957), a omissão de um insumo poderia levar uma empresa, que usasse uma quantidade relativamente alta desse fator, a alcançar, equivocadamente, uma condição de eficiência técnica relativamente alta. Ainda, as diferenças de qualidade em um produto poderiam favorecer aquela empresa que o produzisse em maior quantidade e com melhor qualidade.

Embora, na prática, os insumos se mostrem bastante heterogêneos, esta heterogeneidade de fatores só será importante, quando existirem diferenças na qualidade média de um fator, entre as empresas.

Assim, a eficiência técnica da empresa poderá refletir tanto a qualidade de seus insumos como a eficiência de sua administração. Se essas diferenças na qualidade dos fatores são fisicamente mensuráveis, será possível reduzir seu efeito adotando um

número grande de insumos relativamente homogêneos, embora, na prática, tais diferenças não possam ser totalmente eliminadas.

Portanto, a eficiência técnica de uma empresa sempre refletirá, de alguma forma, a qualidade de seus insumos. Por outro lado, a eficiência técnica também é definida em relação a um dado conjunto de empresas e à forma como os fatores são medidos.

Logo, mudanças em qualquer dessas especificações também afetará as medidas de eficiência relativa.

Um dos objetivos principais para se estudar produtividade é determinar se as mudanças na razão produto-insumo, enfrentadas pela empresa, decorrem de mudanças puramente tecnológicas ou respondem a alterações nos preços dos insumos e produtos (Berechman, 1993).

3.3.1 Técnicas para obtenção de medidas de eficiência

Segundo Greene (1993), nos anos 60, generalizou-se a utilização de análises de regressão, onde dados empíricos são examinados com base em métodos estatísticos (geralmente pelos mínimos quadrados), estimando funções que representam condições médias dos dados.

À medida que a teoria da fronteira de máxima produtividade se consolidou, surgiu interesse em substituir a prática de entrecortar os dados, pela de circundá-los superiormente, por meio de técnicas de programação matemática. As diferenças essenciais entre estas abordagens e as vantagens de uma abordagem ou outra, recaem, basicamente, em duas características:

1. A abordagem econométrica é estocástica, e assim tenta distinguir os efeitos de ruído dos efeitos de ineficiência. A abordagem de programação é não-estocástica, e agrega ambos os efeitos (ruídos e ineficiência), chamando sua combinação de ineficiência.

2. A abordagem econométrica é paramétrica, e permite confundir os efeitos de má especificação da forma funcional (tanto em aspectos tecnológicos como de ineficiência) com ineficiência gerencial. A abordagem de programação é não-paramétrica e menos propensa a este tipo de problema.

Os modelos econométricos podem ser categorizados de acordo com o tipo de dados (em um período ou em vários períodos), o tipo de variáveis (somente quantidades, ou quantidades e preços) e o número de equações no modelo (Greene, 1993).

A abordagem de programação matemática para construção de fronteiras de produção e obtenção de medidas de eficiência relativa às fronteiras, é especificada através da Análise Envoltória de Dados (Capítulo 5).

4. TÉCNICAS PARAMÉTRICAS PARA MEDIR A PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as técnicas paramétricas para medir a produção e a eficiência, sendo descritas as principais funções de produção e custo utilizadas em estudos de sistemas de transporte.

4.2 Um breve histórico das Técnicas Paramétricas

As técnicas paramétricas para medir a eficiência são descritas através de funções custo ou de produção. Lovell (1993) fez um pequeno histórico sobre os primeiros estudos utilizando técnicas paramétricas para medir a eficiência.

Segundo o autor, a abordagem das fronteiras de produção, funções custo e cálculo de medidas de eficiência, começaram com Farrell (1957), que sugeriu análise dos desvios da isoquanta de fronteira em relação às demais isoquantas.

Greene (1993) comenta que a estimação empírica de funções de produção é anterior ao artigo de Farrell, citando trabalho de Cobb e Douglas, datado de 1928. Até 1950, as funções de produção eram amplamente utilizadas como forma de estudar a distribuição de renda entre capital e trabalho, em nível macroeconômico, como a contribuição de Arrow, Chenery, Minhas e Solow (1961) (apud Lovell, 1993).

As origens da análise empírica, aplicada a estruturas de produção microeconômicas, podem ser identificadas com os trabalhos de Dean (1951), Johnston (1959) e Nerlove (1963) (apud Greene, 1993). Embora estes estudos focalizassem aspectos de custos, e não de produção, Nerlove, seguindo Samuelson (1938) e Shephard (1943) (apud

Greene, 1993), enfatizava a relação entre os dois. Mesmo assim, a atenção empírica para funções de produção, a níveis desagregados, é bastante recente.

Os mínimos quadrados e algumas variações são muito utilizados para traçar uma função no meio de uma nuvem de pontos, onde os resíduos de ambos os sinais (lados da curva) não foram separados como em outras áreas de estudo, pois o objetivo era estimar a tecnologia média e não a tecnologia da melhor prática (envoltória superior).

Greene (1993) conclui afirmando que a literatura empírica sobre produção e custos desenvolveu-se independentemente do discurso sobre fronteiras de produção.

4.3 Características das Funções de Produção

4.3.1 Variações na escala de produção

Uma característica importante das funções de produção é a forma como a produção atende às variações de escala na empresa. Existem três possibilidades (Mansfield, 1980; Coelli *et al.*, 1998):

1. **Retornos Constantes de Escala:** a produção aumenta exatamente na mesma proporção dos insumos. Neste caso, conforme mostra a FIGURA 7, as distâncias entre as isoquantas são iguais.
2. **Retornos Crescentes de Escala:** a produção cresce numa proporção maior do que cada um dos insumos. Neste caso, conforme mostra a FIGURA 8, as isoquantas, a partir da origem, tornam-se cada vez mais próximas.
3. **Retornos Decrescentes de Escala:** a produção cresce numa proporção menor do que cada um dos insumos. Neste caso, conforme mostra a FIGURA 9, as isoquantas tornam-se, sucessivamente, mais afastadas a partir da origem.

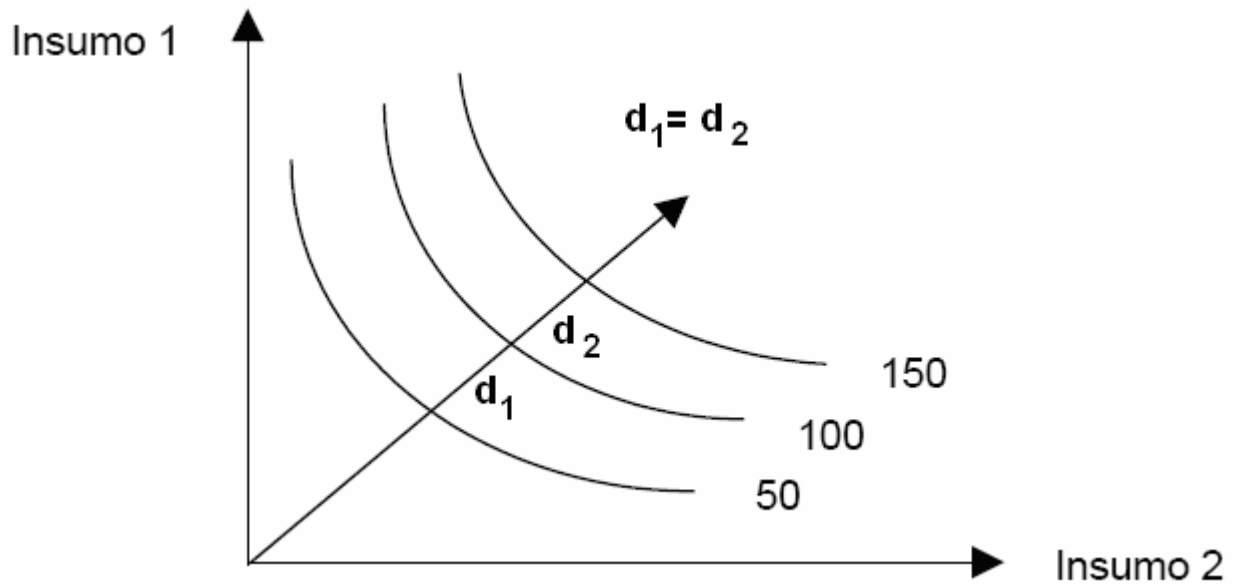


FIGURA 7 – Retornos de Escala Constantes

Fonte: Mansfield (1980)

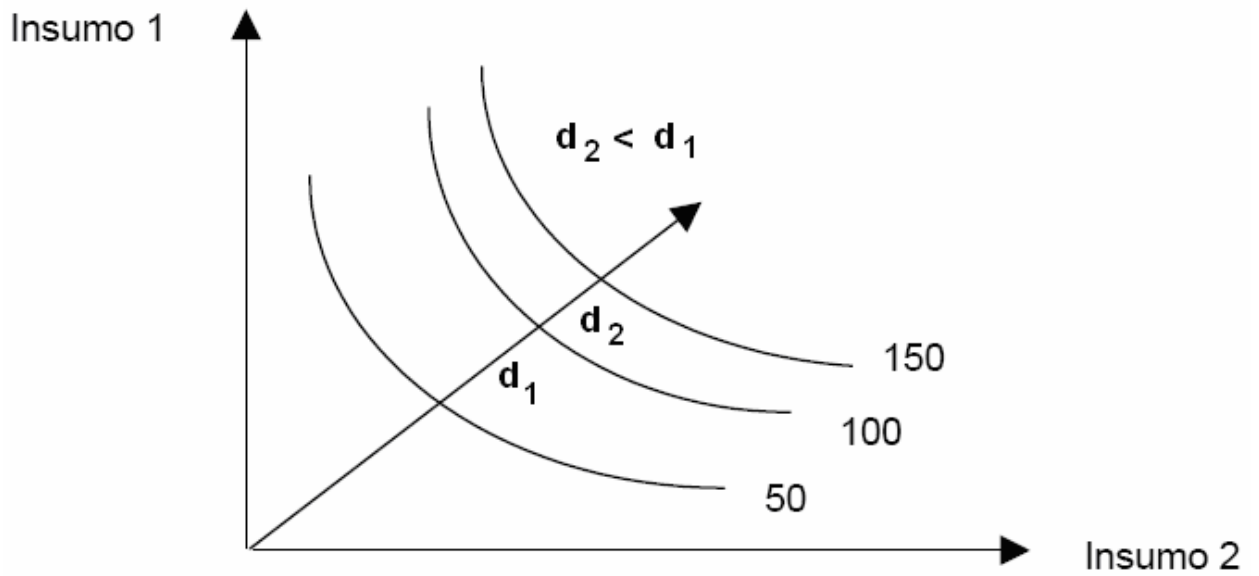


FIGURA 8 – Retornos Crescentes de Escala

Fonte: Mansfield (1980)

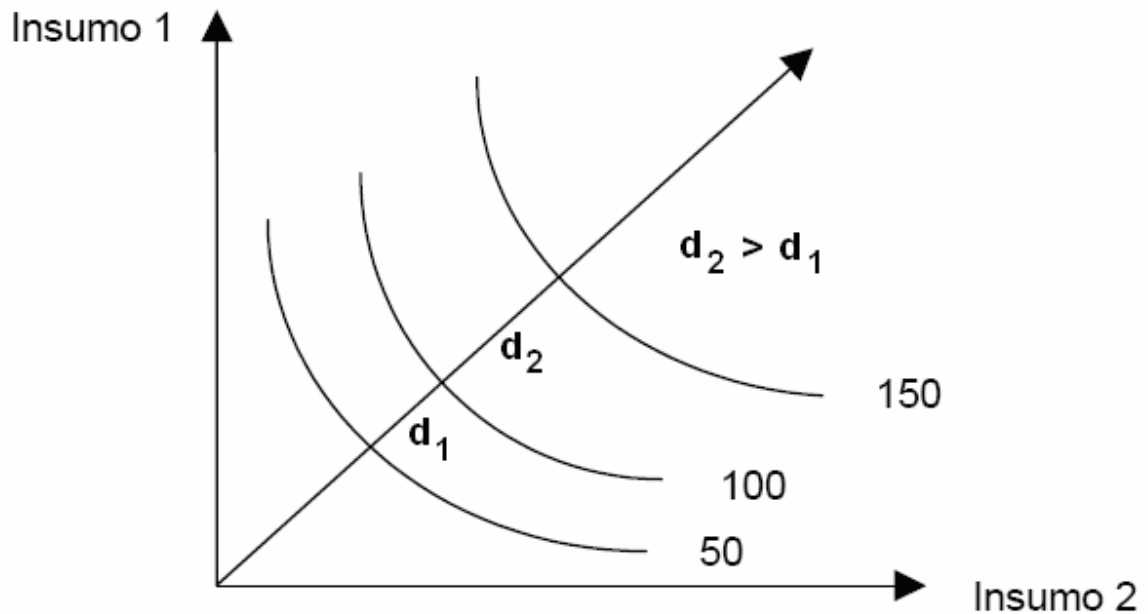


FIGURA 9 – Retornos Decrescentes de Escala

Fonte: Mansfield (1980)

Segundo Coelli *et al.* (1998), pode-se investigar os retornos de escala pela estimação da Elasticidade de Produção Total (EPT) que é o somatório das elasticidades de produção parciais.

As elasticidades de produção parciais medem a mudança proporcional em produto resultante do aumento proporcional em um insumo, mantendo todos os demais insumos constantes.

A elasticidade de produção do i -ésimo insumo é definida como:

$$E_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{y} \quad (1)$$

onde:

E_i - elasticidade de produção parcial do i -ésimo insumo;

y - quantidade de produto;

x_i - quantidade do i-ésimo insumo;

$\frac{\partial y}{\partial x_i}$ - derivada do produto em relação ao i-th insumo.

A elasticidade de produção total (ou elasticidade de escala) mede a mudança proporcional em produto resultante de um aumento proporcional em todos os insumos.

Assim:

$$EPT = \sum_i E_i \quad (2)$$

onde:

EPT - Elasticidade de Produção Total.

Assim, quando:

$EPT = 1$, os Retornos de Escala são Constantes;

$EPT > 1$, os Retornos de Escala são Crescentes;

$EPT < 1$, os Retornos de Escala são Decrescentes.

4.3.2 Modelos de Função de Produção

4.3.2.1 Modelos determinísticos de fronteira de produção

Segundo Kumbhakar e Lovell (2000), um modelo de fronteira de produção para dados obtidos em determinado período de tempo, sobre as quantidades de “ m ” insumos usados para produzir um único produto (para cada produtor), pode ser escrito como:

$$y_j = f(x_j, \beta) ET_j \quad (3)$$

onde:

- y_j - Produto gerado pelo produtor "j", com base em $f(x_j, \beta)ET_j$;
- x_j - vetor de "m" insumos usados pelo produtor "j";
- β - vetor de parâmetros da tecnologia a ser estimado;
- $f(x_j, \beta)$ - função de produção;
- ET_j - eficiência técnica orientada para produto do produtor "j" (também pode ser representada por " ν_j ").

Da equação (3), pode-se representar a eficiência técnica orientada para produto, no caso de fronteira de produção determinística, como sendo:

$$ET_j = \frac{y_j}{f(x_j, \beta)} \quad (4)$$

Assim, a eficiência técnica é a relação do produto observado pelo máximo produto possível. O produto y_j encontra seu máximo valor possível em $f(x_j, \beta)$, se, e somente se, $ET_j = 1$. Caso contrário, $ET_j < 1$ fornece uma medida do déficit de produto observado em relação àquele máximo. Esse déficit é atribuído à ineficiência tecnológica.

4.3.2.1.1 Função de Produção Cobb-Douglas

Muitas estimativas de funções de produção têm se baseado na função de produção Cobb-Douglas, que possui a seguinte equação genérica:

$$Q = A I_1^{\alpha_1} I_2^{\alpha_2} I_3^{\alpha_3} \quad (5)$$

onde:

Q - produto;

I_1 - quantidade de trabalho;

I_2 - quantidade de capital;

I_3 - quantidade de matérias-primas;

A - parâmetro;

α_1 - parâmetro;

α_2 - parâmetro;

α_3 - parâmetro.

Segundo Mansfield (1980), admite-se que os α 's sejam menores que o número um, o que assegura que a produtividade marginal de um insumo decresça quando se aumenta sua utilização.

- Para retornos crescentes de escala: $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 > 1$ (6)

- Para retornos decrescentes de escala: $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 < 1$ (7)

- Para retornos constantes de escala: $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ (8)

A especificação de uma tecnologia Cobb-Douglas impõe limitações sobre efeitos econômicos que são de interesse em transporte. Por exemplo, a elasticidade de substituição entre diferentes insumos é restrita à unidade (Viton, 1980).

Como a elasticidade de substituição de insumos tem importantes implicações para a política de transporte, e como o modelo Cobb-Douglas tem a propriedade de uma elasticidade de substituição unitária, é interessante que se examinem os resultados de substituição de fator obtidos por outros modelos, de forma mais flexível.

4.3.2.1.2 Função de Produção Translog

Segundo Berndt e Christensen (1973), em 1971, Christensen *et al.* propuseram uma função de produção logarítmica transcendental (translog), que possui tanto termos lineares como quadráticos, com um número arbitrário de insumos. Esta forma funcional se reduz a uma forma Cobb-Douglas com múltiplos insumos como um caso especial. Na forma funcional translog, a separabilidade dos fatores pode ser imposta através de restrições paramétricas.

Segundo Spady e Friedlaender (1976) e Firmino (1982), a função translog tradicional pode ser interpretada como uma aproximação das séries de Taylor para a função $\ln g(x)$ sobre o ponto unitário. Uma função contínua obedece a seguinte forma:

$$f(x) = f(z_0) + (z - z_0)f_1(z_0) + \frac{1}{2}(z - z_0)f_{12}(z_0)(z - z_0) + \text{termos de ordem superior} \quad (9)$$

onde:

z - vetor de argumentos de $f(x)$;

z_0 - vetor de pontos arbitrários de avaliações;

f_{1-} derivada de primeira ordem de $f(x)$ com relação a seus argumentos;

f_{12-} derivada de segunda ordem de $f(x)$ com relação a seus argumentos.

A aproximação de segunda ordem de Taylor é dada por:

$$\hat{f}(x) = f(z_0) + (z - z_0)f_1(z_0) + \frac{1}{2}(z - z_0)f_{12}(z_0)(z - z_0) \quad (10)$$

Supõe-se que se deseja derivar a aproximação translog para $g(x)$, onde x é um vetor de números positivos. Isto é feito em dois passos: primeiro, constrói-se uma função

exata f , satisfazendo $f(\ln x) = \ln g(x)$; a seguir, escreve-se $z = \ln x$. Isto produz $f(\ln x) = f(z)$. Assim, obtém-se $\hat{f}(x) = \ln \hat{g}(x)$.

Da equação (10), encontra-se.

$$\ln \hat{g}(x) = f(\ln x_0) + (\ln x - \ln x_0)f_1(\ln x_0) + \frac{1}{2}(\ln x - \ln x_0)f_{12}(\ln x_0)(\ln x - \ln x_0) \quad (11)$$

A equação (9) define a forma geral da função translog, que representa a função de aproximação de Taylor $\ln \hat{g}(x)$ para a função $\ln g(x)$ sobre um ponto de expansão arbitrário x_0 . O ponto de aproximação pode ser a média da amostra ou um valor corrente da variável. Assim, a equação translog possui a seguinte forma:

$$\ln \hat{g}(x) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i (\ln x_i - \ln x_{0i}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m b_{ij} (\ln x_i - \ln x_{0i}) (\ln x_j - \ln x_{0j}) \quad (12)$$

onde:

$$a_0 = f(\ln x_0),$$

$$a_i = f_1(\ln x_0),$$

$$b_{ij} = f_{12}(\ln x_0),$$

$$b_{ij} = b_{ji}.$$

Na equação (12) a constante a_0 , os coeficientes a_i e b_{ij} podem ser interpretados, respectivamente, como o valor, a primeira e a segunda derivada do logaritmo da função básica, cujos argumentos são avaliados no ponto arbitrário de expansão x_0 .

A função de produção $g(x)$ é homogênea de grau k em x , para y fixo, se e somente se (Spady e Friedlaender, 1976):

$$(i) \quad \sum_{i=1}^m a_i = k, \text{ sendo } i, j = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$(ii) \quad \sum_{i=1}^m b_{ij} = 0, \text{ sendo } i, j = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Uma das principais críticas dos modelos de fronteira determinística é que nenhuma consideração é feita a respeito da possível influência de erros de medidas e outros distúrbios sobre a fronteira. Todos os desvios da fronteira são adotados como sendo resultado de ineficiência técnica. Uma abordagem alternativa para a solução do problema de distúrbios é dada pela Abordagem de Fronteira Estocástica.

4.3.2.2 Modelos de fronteira de produção estocástica

Kumbhakar e Lovell (2000) apresentam breve histórico sobre o surgimento da Análise de Fronteira Estocástica. Os autores comentam que a literatura sobre eficiência produtiva, que começou nos anos 50 com os trabalhos de Koopmans (1951), Debreu (1951) e Shephard (1953) (apud Kumbhakar e Lovell, 2000), influenciou diretamente o desenvolvimento de Análise de Fronteira Estocástica.

Koopmans (1951) (apud Kumbhakar e Lovell, 2000) forneceu a seguinte definição de eficiência técnica: um produtor é tecnicamente eficiente se, e somente se, é impossível produzir mais de algum produto sem produzir menos de algum outro produto ou sem usar mais de algum insumo.

Debreu (1951) e Shephard (1953) (apud Kumbhakar e Lovell, 2000) introduziram funções de distância como forma de modelar a tecnologia de múltiplos produtos e medir a distância radial de cada unidade produtiva até a fronteira, seja com base na expansão dos produtos (Debreu) ou na redução dos insumos (Shephard). A associação de funções de distância com medidas de ineficiência técnica, foi o centro para o desenvolvimento da literatura que trata de medidas de ineficiência multidimensional, em bases não-paramétricas.

Kumbhakar e Lovell (2000) também comentam que Farrell (1957) foi o primeiro a medir, empiricamente, a eficiência produtiva. Farrell definiu eficiência de custo, e mostrou como decompô-la em suas componentes técnica e alocativa. Foi de grande significância a influência que o trabalho de Farrell exerceu sobre muitos outros trabalhos que levaram ao desenvolvimento da Análise de Fronteira Estocástica.

Segundo Kumbhakar e Lovell (2000), a grande virtude dos modelos de fronteira de produção estocástica reside no fato de que, impactos de choques randômicos sobre os produtos, devidos à variação na performance de trabalho e equipamentos, ou reações da natureza e impactos de choques devidos à fatores aleatórios, podem ser distinguidos e descontados das eficiências devidas à problemas técnicos.

Segundo Coelli et al. (1998), os autores Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e van den Broeck (1977) propuseram, independentemente, uma função de produção de fronteira estocástica, em que um erro randômico v_j é incorporado à função de produção determinística. A forma geral dessa função de produção, representada por Kumbhakar e Lovell (2000) é:

$$y_j = f(x_j, \beta) \exp\{v_j\} ET_j \quad (15)$$

O erro randômico considera o impacto de erros de medidas e outros fatores randômicos tais como os efeitos de clima, surpresas, casualidade, etc, sobre o valor da variável produto, além dos efeitos combinados de variáveis de insumo não especificadas na função de produção. Aigner, Lovell e Schmidt (1977) (apud Kumbhakar e Lovell, 2000), assumiram que esses erros eram variáveis randômicas normais, independentes e identicamente distribuídas, com média zero e variância σ_v^2 constante.

Assumiram que este erro randômico seria independente das ineficiências técnicas, que podem ser variáveis randômicas exponenciais, normal-truncada, gama, independentes e identicamente distribuídas.

O modelo definido pela equação (15), é chamado Função de Produção de Fronteira Estocástica porque os valores do produto são empurrados para cima pela variável (randômica) estocástica $\exp\{v_j\}$. O erro randômico v_j pode ser positivo ou negativo e, assim, os produtos da fronteira estocástica variam em torno da parte determinística do modelo de fronteira $f(x_j, \beta)$.

Os fatores básicos do modelo de fronteira estocástica são ilustrados na FIGURA 10.

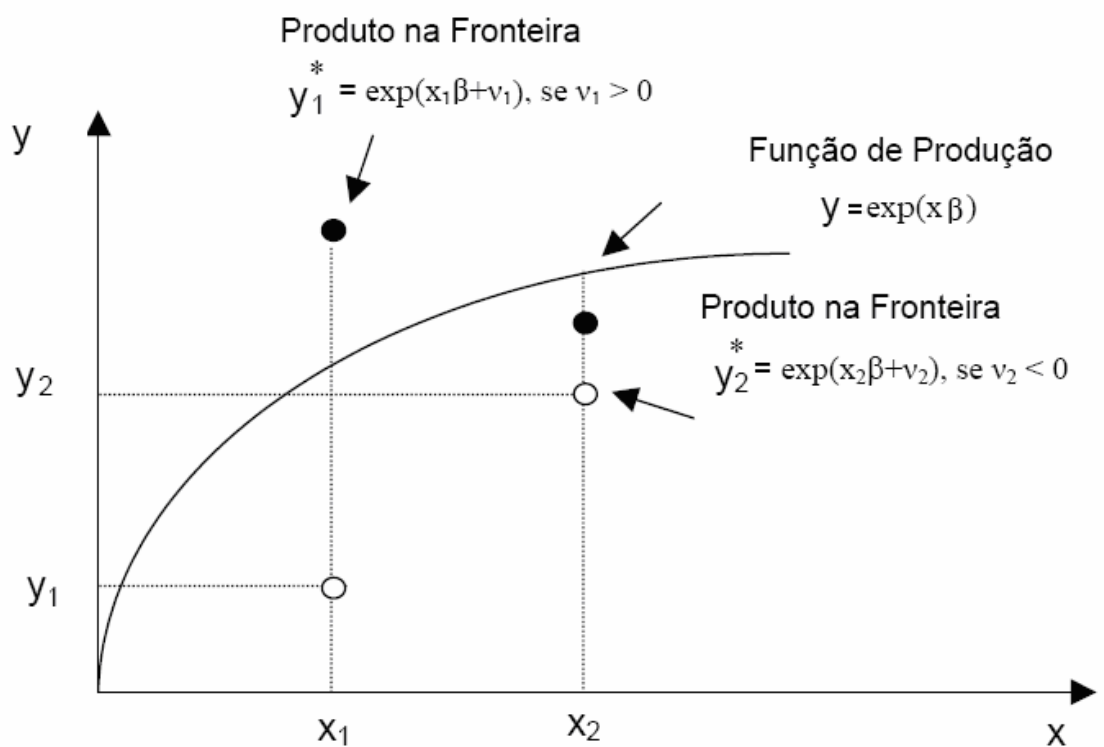


FIGURA 10 – A Função de Produção de Fronteira Estocástica da Função Cobb-Douglas

Fonte: Coelli et al. (1998)

Os produtos e insumos observados para as duas empresas 1 e 2 são apresentados na FIGURA 10. A primeira empresa usa o nível de insumos x_1 para produzir o produto y_1 . Os valores de insumo e produto observados são indicados pelos pontos em branco.

O valor do produto da fronteira estocástica $y_1^* = \exp(x_1\beta + v_1)$ é marcado pelo ponto em preto, acima da função de produção, devido ao erro randômico v_1 ser positivo. Da mesma forma, a segunda empresa usa o nível de insumos x_2 e produz o produto y_2 .

Contudo, o produto da fronteira $y_2^* = \exp(x_2\beta + v_2)$ está abaixo da função de produção devido ao erro randômico v_2 ser negativo. Os produtos da fronteira estocástica y_1^* e y_2^* não são observados porque os erros randômicos v_1 e v_2 não são observáveis.

Entretanto, a parte determinística do modelo de fronteira estocástica fica entre os produtos da fronteira estocástica. Os produtos observados podem ser maiores do que a parte determinística da fronteira, se os correspondentes erros randômicos são maiores do que os correspondentes efeitos de ineficiência (isto é, $y_j > \exp(x_j, \beta)$ se $v_j > v_j$).

A fronteira de produção estocástica consiste de duas partes: uma parte determinística $f(x_j, \beta)$, comum para todos os produtores, e uma parte específica do produtor $\exp\{v_j\}$, que captura o efeito dos choques randômicos sobre cada produtor. Se a fronteira de produção é estocástica, a ineficiência técnica é calculada como:

$$ET_j = \frac{y_j}{f(x_j, \beta) \cdot \exp\{v_j\}} \quad (16)$$

Da mesma forma como definida na equação (4), $ET_j < 1$ fornece uma medida do déficit do produto observado pelo máximo produto possível em um ambiente caracterizado por $\exp\{v_j\}$, que é permitido variar através dos produtores.

Segundo Kumbhakar e Lovell (2000), se for assumido que $f(x_j, \beta)$ toma a forma log-linear de Cobb-Douglas, o modelo de fronteira de produção estocástica da equação (15) pode ser escrito como:

$$\ln y_j = \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln x_{ij} + v_j - v_j \quad (17)$$

onde:

v_j - componente de perturbação bi-lateral do termo de erro;

v_j - componente de ineficiência técnica não negativa do termo de erro
(que também pode ser representada por “ ET_j ”).

Assume-se que a componente v_j é independente e identicamente distribuída e simétrica, distribuída independente de v_j . Assim, o termo de erro $er_j = v_j - v_j$ é assimétrico, uma vez que $v_j \geq 0$.

Adotando que v_j e v_j são distribuídos independentemente de x_j , a estimação da equação (17), através do método dos Mínimos Quadrados Ordinários, fornece uma estimativa consistente dos $\beta_{j,s}$ mas não de β_0 , uma vez que $E(er_j) = -E(v_j) \leq 0$.

Além disso, o método dos Mínimos Quadrados Ordinários não fornece uma estimativa da ineficiência técnica por produtor. Embora, o método dos Mínimos Quadrados Ordinários fornece um teste simples para a presença de ineficiência técnica nos dados. Se $v_j = 0$, então $er_j = v_j$, o termo de erro é simétrico, e os dados não permitem afirmar que existe ineficiência técnica. Contudo, se $v_j > 0$, então $er_j = v_j - v_j$ é negativamente assimétrico, e existirá evidência de ineficiência técnica, para aqueles dados.

Segundo Kumbhakar e Lovell (2000), para estimar a componente de ineficiência técnica (v_i), para cada produtor, é necessário que se façam suposições quanto à forma de distribuição deste erro (v_i).

A componente de erro inerente à ineficiência técnica pode seguir as distribuições semi-normal (somente a parte direita da distribuição relativamente à média), exponencial, normal truncada ou gama; já a componente de erro randômico assume uma distribuição normal.

Segundo Coelli et al. (1998), outras formas funcionais, além da Cobb-Douglas, podem ser usadas na estimação de funções de produção de fronteira estocásticas. As mais

populares são a função de produção translog e a função de produção Zellner-Revankar generalizada.

A forma translog não impõe restrições sobre retornos à escala e possibilidades de substituição, embora apresente maior suscetibilidade a problemas de multicolinearidade e graus de liberdade.

4.4 Função Custo

Segundo Small (1992), a descrição fundamental de tecnologia corresponde a uma função de produção, que descreve a relação entre produtos e insumos. A função custo, para um dado setor ou indústria, delinea o custo mínimo de produção do vetor produto, para determinada função de produção, em vista de algumas relações de oferta, para os insumos.

Geralmente essas relações de oferta se referem a um preço fixo w , onde o problema é visto como de minimização para o produto $w \cdot x$ sujeito à restrição tecnológica definida pela equação de produção. A solução, quando única, determina um vetor de insumos ótimo x^* . O custo mínimo resultante $w \cdot x^*$ depende de y , w e β . Assim, a função de custo é escrita como $C(y, w; \beta)$.

Segundo Berechman (1993), um modelo de custo pode ser estabelecido em termos de curto prazo ou longo prazo, dependendo da presença ou ausência de insumos fixos.

Segundo Jansson (1984), os serviços de transporte com determinada frequência, que envolvem obrigações explícitas e implícitas por parte do produtor de transporte, em manter um serviço regular durante um período futuro apreciável, com um preço fixo, independente do que possa acontecer, raramente podem representar seus custos relevantes com funções de curto prazo.

No caso de transporte de passageiros, as tarifas são fixas por um dado período de tempo, definido pelos órgãos que regulam tais serviços.

Assim, a consideração de preço se apóia em funções de médio-prazo, que levam em conta, também, os custos do usuário.

Segundo Berechman (1993), no modelo de curto prazo, o nível de um fator de insumo fixo (exemplo: capital) não pode ser ajustado pela empresa de transporte e, conseqüentemente, este modelo estima, somente, as relações de custo à curto prazo.

Os modelos à longo prazo assumem que todos os insumos são ajustáveis, a fim de produzir o nível desejado de produto com o mínimo custo total, usando o mix de insumos ótimo. O modelo pode conter um único produto ou múltiplos produtos.

Assim, um modelo utilizado para estimar custos ou produção em transporte, pode variar em relação a sua dimensão (curto ou longo prazo), a sua especificação econométrica (linear, log-linear, função de custo de forma restrita ou flexível, função de produção) e ao número de produtos.

Os insumos fixos representam outro argumento na função custo resultante. Por definição:

$$C(y, w ; \beta) = \underset{x}{\text{Min}} \tilde{C}(y, w ; \beta, \tilde{x}) \quad (18)$$

onde:

- C - função custo;
- y - vetor produto;
- w - vetor de preços de insumos;
- β - parâmetros a serem estimados;
- \tilde{x} - insumos fixos.

Segundo Small (1992), se C denota tanto funções custo de curto prazo como de longo prazo, pode-se definir custo médio e custo marginal com relação a algum produto y_r , como:

$$CM = \frac{C}{y_r} \quad (19)$$

onde:

CM - custo médio;

C - custo total;

y_r - produto "r".

Controlando os preços de insumos, as mudanças descendentes na função de custo médio no tempo são equivalentes a ganhos de produtividade, enquanto que mudanças ascendentes equivalem a declínios de produtividade (Berechman, 1993).

Estas mudanças correspondem ao custo marginal, que é calculado da seguinte forma:

$$CM \text{ arg} = \frac{\partial C}{\partial y_r} \quad (20)$$

4.4.1 Modelos de fronteira para uma função custo com uma única equação

Segundo Kumbhakar e Lovell (2000), para que se possa estimar um modelo de fronteira de custo de uma única equação, é necessário que se tenham dados sobre os preços dos insumos empregados, as quantidades de produtos produzidas, e a despesa total para cada produtor.

A fronteira de Custo Determinística pode ser expressa como:

$$D_j \geq C(y_j, w_j; \beta), \text{ sendo } j = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

onde:

$D_j = w_j x_j = \sum_i w_{ij} x_{ij}$ - despesa incorrida pelo produtor j ;

$y_j = (y_{ij}, \dots, y_{ij}) \geq 0$ - vetor de produtos produzido pelo produtor j ;

$w_j = (w_{ij}, \dots, w_{ij}) > 0$ - vetor de preços de insumos enfrentados pelo produtor j ;

β - vetor de parâmetros da tecnologia a ser estimado;

$C(y_j, w_j; \beta)$ - fronteira de custo comum para todos os produtores.

Segundo Kumbhakar e Lovell (2000) nem sempre o vetor x_j , é conhecido. Se este vetor não é conhecido, a eficiência de custo não pode ser decomposta em termos de custo de ineficiência técnica orientada para insumo e o custo de eficiência alocativa de insumo. Caso contrário, ou seja, quando o vetor é observado, esta decomposição pode ser realizada.

Segundo Kumbhakar e Lovell, a eficiência de custo do produtor “ j ”, pode ser medida através da equação:

$$EC_j = \frac{C(y_j, w_j; \beta)}{D_j} \quad (22)$$

onde:

EC_j - eficiência de custo do produtor “ j ”.

A equação (22) define a eficiência de custo como a relação entre o mínimo custo possível e as despesas observadas. Quando $EC_j = 1$, o produtor é eficiente em relação aos seus custos; quando $EC_j < 1$, a despesa observada é maior do que o custo mínimo possível, e o produtor é ineficiente. A situação de $EC_j > 1$ não pode ocorrer, pois as despesas observadas não podem ser menores do que o custo mínimo.

A estimação da fronteira de custo determinística pode ser realizada utilizando Programação Matemática, Métodos dos Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos e Método dos Mínimos Quadrados Ordinários Modificados, da mesma forma como mencionado para Funções de Produção.

4.4.1.1 Função Custo do tipo Translog

A função translog é uma forma funcional de aproximações de segunda-ordem que permite o uso de múltiplos produtos e níveis de qualidade. Sua forma é suficientemente flexível para testar hipóteses relacionadas com a estrutura básica de produção, e pode ser usada tanto para avaliações centradas em curto prazo como para longo prazo.

Essas funções, portanto, trabalham com múltiplos produtos, elasticidades de substituição variável entre os insumos e elasticidades variáveis, de transformação, entre os produtos.

De Borger (1984) acrescenta que a função custo translog contém todas as informações necessárias com relação a estrutura de produção, tais como economias de escala, elasticidades de preços de demandas de insumo, elasticidades de substituição, etc.

Esta especificação não requer nenhuma restrição a priori em relação à natureza de retornos de escala, a elasticidade de substituição entre insumos, a separabilidade entre produtos e insumos, etc. Ainda, é possível, a partir da mesma, derivar índices de produtividade, tanto da função de custo variável como total.

Vítton (1980) e Berechman (1993), complementam que a função custo translog permite liberdade na atribuição de todos os efeitos econômicos da tecnologia de produção básica, tais como o grau de substituição de fator ou de homogeneidade, sem impor as suposições inerentes aos modelos Cobb-Douglas.

Seja Y e w o produto e o vetor de preços dos insumos, respectivamente. A estrutura geral da função translog é dada por (Berechman, 1993):

$$\ln C = \alpha_0 + \sum_g \alpha_g \ln Y_g + \sum_k \beta_k \ln w_k + \frac{1}{2} \sum_g \sum_h \delta_{gh} \ln Y_g \ln Y_h + \frac{1}{2} \sum_k \sum_l \gamma_{kl} \ln w_k \ln w_l + \sum_g \sum_k \rho_{gk} \ln Y_g \ln w_k \quad (23)$$

onde:

C - função custo;

$\alpha_0, \alpha_{ig}, \beta_k, \delta_{gh}, \gamma_{kl}$ e ρ_{gk} - parâmetros a serem estimados;

Y_g e Y_h - quantidades dos produtos "g" e "h", respectivamente;

w_k e w_l - preços dos insumos "k" e "l", respectivamente.

Para que haja simetria, é necessário impor as seguintes restrições:

$$\delta_{gh} = \delta_{hg}, (g, h = 1, \dots, r) \text{ e } \gamma_{kl} = \gamma_{lk}, (k, l = 1, \dots, m). \quad (24)$$

As condições de concavidade linear, regularidade e homogeneidade em preços de insumos são:

$$\sum_k \beta_k = 1, \quad \sum_l \gamma_{kl} = 0 \quad \text{e} \quad \sum_k \rho_{gk} = 0 \quad (25)$$

Se $\rho_{gk} = 0$ para todo "g" e "k", a função de custo é homogênea e homotética*. Quando $g = h$ e $k = l$, os termos de segunda ordem na equação (23) tornam-se, respectivamente, $\frac{1}{2} \sum_g \delta_{gg} (\ln Y_g)^2$ e $\frac{1}{2} \sum_k \gamma_{kk} (\ln w_k)^2$.

A aplicação do Lemma de Shepard (Coelli *et al.*, 1998) gera a seguinte equação parcial de insumo:

$$S_k = \beta_k + \sum_l \gamma_{kl} \ln w_l + \sum_g \rho_{gk} \ln Y_g \quad (26)$$

onde:

S_k - parcela dos custos totais do insumo "k".

* Segundo Firmino (1982), a função de produção é homotética quando a participação dos fatores permanece inalterada com a mudança de escala.

Após definir as restrições (equação 25) sobre a função de custo (equação 23), tem-se um número de parâmetros a serem estimados, e uma vez que as equações parciais não adicionam parâmetros desconhecidos, é aconselhável estimar as equações (23) e (26) em conjunto. Esta abordagem aumenta os graus de liberdade, sem aumentar o número de parâmetros a serem estimados (Berechman e Giuliano, 1984).

A estimação conjunta das equações parciais e de custo requer que uma das equações parciais seja apagada por causa do erro randômico que está associado com as funções parciais e de custo, levando a uma matriz de covariância singular (Berndt e Wood, 1975) (apud Berechman e Giuliano, 1984).

Além disso, é provável que os termos de erro da função custo e equações parciais se correlacionem devido a um número grande de variáveis explicativas comuns. Para levar em conta esses problemas, pode-se utilizar uma modificação da técnica de Zellner^{**}. Para evitar a singularidade da matriz de variância-covariância, uma das equações parciais dos fatores é retirada antes de seguir para o segundo estágio do procedimento de Zellner.

Assim, as estimativas dos parâmetros resultantes têm as mesmas propriedades assintóticas que as estimativas de máxima verossimilhança (Berndt et al., 1974, apud De Borger, 1984). Além disso, se é mantida a suposição de inexistência de autocorrelação, os resultados do procedimento são insensíveis àquela equação de fatores parciais que foi retirada antes do segundo estágio.

4.4.2 Alguns estudos realizados para estimar Funções Custo em transportes

Vários estudos foram realizados de estimação de funções custo com o intuito de identificar o custo mínimo para realização de determinada prestação de serviço em transportes.

^{**} A técnica de Zellner é uma forma de função de produção que permite a variação dos retornos de escala através dos diversos níveis de produto.

Mohring (1972) estimou funções lineares de custo, para rotas de transporte por ônibus urbano, para a cidade de Twin, utilizando uma amostra extraída de Minneapolis e seus subúrbios adjacentes.

A primeira função estimou um modelo de custo total esperado, por passageiro, para um segmento de rota fixo, por milha, possibilitando, ainda, a definição do número de pontos de parada. O segundo modelo de custo estudou rotas de ônibus alimentadoras, onde, ao longo de cada M milhas de rota, um número médio de pessoas por hora que estão a bordo de um ônibus, desembarcando, todas, no fim da rota, ou seja, no centro.

Para esses modelos foram utilizadas as seguintes variáveis: valor médio atribuído pelos passageiros ao tempo gasto em caminhadas até o ponto de ônibus, ou do ponto de ônibus até o destino, e o tempo de espera até a chegada do ônibus; velocidade de caminhada dos passageiros até o ponto de ônibus; número de pontos de ônibus uniformemente espaçados por milha; valor médio atribuído pelos passageiros por uma hora a bordo de um ônibus; *headway* na linha de ônibus; duração da viagem para o passageiro; velocidade média total de um ônibus; número de ônibus por hora de serviço; número médio de passageiros que embarcam e desembarcam por hora em um ônibus; tempo para realizar manobras de parada e partida no ponto de ônibus; tempo de embarque do passageiro no ônibus.

Algumas conclusões deste trabalho foram que ambos os modelos revelaram consideráveis economias de escala; que o espaçamento entre paradas é um determinante muito mais importante de tarifas ótimas do que a taxa em que as viagens são realizadas. Ainda, o espaçamento entre os pontos de parada tem um efeito substancial sobre os *headways* e, portanto, sobre as componentes de custo de operação do ônibus e tempo de viagem, nos custos totais.

Com essas funções, foi possível obter informações sobre a frequência de serviço ótima para custos alternativos de ônibus, para a demanda e condições de espaçamento entre os pontos de parada.

Keeler (1973), estimou funções de custo de curto prazo para ferrovias, a partir de uma função de produção Cobb-Douglas, sem restrições de retornos de escala para serviços

de transporte de carga e de passageiros. As variáveis incluídas nesta função foram: extensão de trilhos, investimentos com estoque de material (vagões, trilhos, locomotivas, etc); consumo de combustível e trabalho.

A equação final foi estimada sobre um instante no tempo utilizando dados de 51 ferrovias Americanas através do método dos mínimos quadrados não linear de Gauss. O autor encontrou retornos de escala constantes a longo prazo, e concluiu que se as mesmas minimizassem seus custos, gastariam, com despesas de via e estrutura fixas, aproximadamente 20% dos custos totais.

Através da função de custo total de curto prazo, foi possível ajustar uma função de longo prazo, que serviu para estimar a quantia em excesso ou escassez na capacidade de carregamento da rede, através da extensão de trilhos existente em cada empresa e, conseqüentemente, seus respectivos custos.

Os resultados indicaram uma enorme quantidade em excesso na capacidade de carregamento dos trilhos (acima de 200.000 milhas), onde, cortando-se essa extensão de trilhos (por exemplo, isolando trechos pouco utilizados) para níveis ótimos, poder-se-ia economizar, aproximadamente, 2,5 bilhões de dólares por ano.

Pozdena e Merewitz (1978) também estimaram funções custo a partir da função de produção Cobb-Douglas para prever o custo de operação de um sistema de transporte urbano rápido sobre trilhos na Área da Baía de São Francisco, onde utilizaram, como produto, o número de veículos-milha anual e como insumos, o número de horas trabalhadas, a energia consumida (quilowatts-hora), o estoque de material (número de veículos) e extensão de trilhos simples (milhas).

Para curto prazo, a extensão de trilhos foi considerada fixa. Assim, a equação possuía duas componentes de custos anuais: o custo fixo de operação, proporcional à escala do sistema (medida em milhas de trilho) e os custos que variam com o produto. Os dados utilizados foram observações de 11 propriedades de transporte Norte-Americanas que possuíam informações entre os anos de 1960 a 1970.

Assim, foi possível estimar uma série temporal. Para a estimação dos parâmetros da função foram utilizadas duas técnicas de estimação não-linear: o método de Newton-

Gauss, que assume que o erro seja adicionado à função; e a forma log-linear modificada, onde o erro é multiplicado à função para, após a aplicação do logaritmo, obter-se um erro adicionado ao logaritmo da função.

Ainda, devido a dissimilaridade das propriedades envolvidas na análise, foi necessário separá-las em grupos, especificando-as como pequenas, médias ou grandes, e representando estas características, na função, através de variáveis *dummys*. Como resultados, encontraram economias de densidade e economias de escala para longo prazo, na provisão de serviços de trânsito rápido por trem.

No que se refere aos transportes, a incorporação de funções translog aconteceu com o estudo de Spady e Friedlaender (1976). Neste, a preocupação central dos autores foi com os efeitos econômicos advindos da rígida regulamentação para as rodovias e ferrovias americanas. Berndt e Wood (1975) (apud Firmino, 1982), utilizaram uma função de custo translog de longo prazo para estimar as elasticidades de preço da demanda para energia elétrica industrial.

Friedlaender e Spady (1980) (apud Firmino, 1982) adotaram um procedimento semelhante para a demanda do transporte de carga americano, com base numa função de custo translog de curto prazo. Outro estudo foi a tese de doutoramento de Diaz (1981) (apud Firmino, 1982), que utilizou uma função translog para estimar função custo de transporte em ambiente de múltiplos produtos.

Jara-Diaz (1982) estimou uma função de custo linear para o transporte de carga de determinado produto, em uma rota cíclica, onde os produtos foram: o fluxo médio de uma origem "*i*" para um destino "*j*" e o fluxo médio do destino "*j*" para a origem "*i*".

Como insumo utilizou o tamanho da frota da empresa, a capacidade por veículo, o carregamento por veículo, a capacidade de carregamento na origem, a capacidade de descarga no destino, o tempo de viagem, a distância viajada, a velocidade, a proporção de veículos em serviço e a frequência de viagem. As variáveis distância e velocidade foram consideradas exógenas. Na análise verificou economias de escopo devido a complementariedade espacial entre os dois produtos.

Firmino (1982) aplicou uma função de custo translog ao transporte marítimo por cabotagem no Brasil, realizado por navios de carga geral, estimando modelos de curto e longo prazo, linearmente homogêneos de grau "1" nos preços, para os anos de 1976 a 1979. Ele constatou a existência de economias de escala derivadas da utilização de navios maiores.

De Borger (1984) estimou uma função de custo variável translog para o transporte de ônibus regional na Bélgica. Os serviços de transporte de ônibus eram fornecidos por uma única empresa, a "Nationale Maatschappij voor Buurtspoorwegen".

A empresa era regulada pelo governo, responsável pela fixação de preços. O governo também era responsável pela determinação das rotas e suas respectivas frequências, isto é, pela definição do número de veículos-quilômetro que deveriam ser fornecidos pela empresa. Isto quer dizer que o produto não era uma escolha variável para a companhia e que sua única flexibilidade poderia ser encontrada no lado do insumo.

O fator de demanda foi o número de passageiros-quilômetro produzido pela empresa. Foi assumido que a empresa fornecia seus serviços de transporte ao menor custo variável possível. Como ponto de aproximação, necessário na forma translog, foram utilizadas as médias amostrais. A função de custo variável translog foi estimada usando dados de séries temporais sobre o produto (assentos-quilômetro), preços de insumo para trabalho e energia, uma medida para o estoque de capital fixo e uma tendência no tempo. Após, os resultados estimados foram usados para calcular dois diferentes indicadores de crescimento de produtividade, no período de 1951 a 1979.

Algumas conclusões retiradas por De Borger (1984), foram: a hipótese de elasticidades de substituição unitária não era suportada pelos dados, excluindo, assim, o uso da função de custo Cobb-Douglas como uma descrição razoável do comportamento do custo da empresa.

Com relação à estrutura de custo, foram encontradas evoluções inconstantes tanto em economias de densidade como em custos marginais. As elasticidades de preço para energia e, especialmente para trabalho, foram baixas, provavelmente devido às obrigações contratuais da companhia de ônibus. Os dois índices de produtividade

calculados a partir da função de custo variável estimada, mostraram crescimento substancial no período de 1951 a 1960. Contudo, nenhum aumento de produtividade significativa foi observado após este período.

Kim (1985) estimou uma função de custo translog para o setor de transporte de ônibus intermunicipal de Israel, com os mesmos dados utilizados por Berechman (1983) (apud Kim, 1985), de forma a complementar o estudo realizado pelo último. Para isso calculou a ineficiência de custo e diferenciais de custo médio.

Os dados empregados foram: receita (produto), preço de trabalho, preço de capital, parcela do trabalho nos custos totais, parcela de capital nos custos totais e custos totais. Alguns resultados encontrados foram: todos os anos investigados tiveram níveis mais altos de eficiência do que o primeiro trimestre de 1972 (período base). O aumento médio em eficiência de 1972 a 1979 foi de 9,44%. O custo médio no período amostrado foi 4,2% menor que o custo médio do período base.

Segundo Berechman (1993), a maioria dos estudos tem utilizado o modelo translog para estimar funções custo, enquanto poucos estudos têm usado esta abordagem para estimar funções de produção de transporte. Gathon (1989) (apud Berechman, 1993), usando uma base de dados do sistema de transporte Europeu, estimou uma função de produção translogarítmica com trabalho (número de trabalhadores) e capital (número de veículos) como insumos.

Introduzindo na função estimada os insumos reais usados pelos sistemas de transporte individuais, calculou os níveis de produto ótimo desses sistemas. Numa comparação direta dos níveis de produto real e ótimo, estabeleceu o grau de eficiência técnica de cada sistema. Uma extensão desta metodologia foi usada por Viton (1986) (apud Berechman, 1993) para calcular uma fronteira de possibilidade de produção estocástica e derivar mudanças na fronteira através do tempo, como uma função de mudanças em tecnologia, condições de oferta e número de ônibus.

Silva *et al.* (1996) estimaram funções de custo log-linear e translog para empresas de transporte de passageiros por ônibus e compararam seus resultados. A base de dados foi formada por empresas com itinerários fixos e que prestavam serviço inter-regional

no Brasil. Os dados corresponderam à questionários que faziam parte das entrevistas econômicas realizadas sistematicamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para os anos de 1986 a 1992.

As variáveis utilizadas foram: custo operacional total (variável dependente), passageiros-quilômetros, extensão média das linhas, extensão total das linhas, níveis de escala de produção (passageiros-quilômetros) e *dummies* regionais.

Uma conclusão retirada por Silva *et al.* (1996) neste estudo, foi que a produção de serviços das empresas de transporte de passageiros é sensível à estratificação do seu tamanho e ao relaxamento da hipótese de elasticidade de custo constante.

O estudo mostrou a existência de economias de escala tanto para as empresas menores como para empresas de porte médio, mas as empresas maiores mostraram deseconomias de escala.

Assim, ficou evidenciada a diminuição de economias de escala com o aumento do tamanho da produção das empresas; além disso, foram verificadas reduções da elasticidade de custo com o aumento da extensão média das linhas.

4.5 Conclusões deste capítulo

Na abordagem paramétrica é necessário especificar uma forma funcional para representar as funções de produção a serem estimadas. A fronteira eficiente é estimada estatisticamente através da análise de regressão. A função de produção relaciona a quantidade de produto gerada (*output*) com os fatores de produção que a explicam (*inputs*), fornecendo um perfil das condições de operação de empresas individuais ou setores, gerando assim, importantes subsídios para o processo de tomada de decisão.

A determinação de uma função de produção permite desenvolver simulações que possibilitam avaliar o impacto das condições de mercado sobre o uso dos recursos empregados pela empresa.

5. TÉCNICA NÃO-PARAMÉTRICA PARA MEDIR EFICIÊNCIA: ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

5.1 Introdução

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos e aplicações da Análise Envoltória de Dados, sendo uma importante técnica não-paramétrica, utilizada para definir a fronteira de produção e medir a eficiência relativa de uma unidade observada em relação a essa fronteira.

5.2 Um breve histórico da Análise Envoltória de Dados

Seiford (1995) mostra que, antes da técnica de análise envoltória de dados ser consolidada, foi necessário definir os fundamentos que iriam suportar seu desenvolvimento.

Esse autor relata que as bases teóricas para medir eficiência, usando uma abordagem não-paramétrica, são derivadas do trabalho seminal de Farrell (1957). Charnes, Cooper e Rhodes (1978, 1979) popularizaram essa abordagem usando um modelo de programação matemática denominado “Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA)”, que gera uma envoltória desenvolvida a partir de dados observados.

Essa envoltória forma uma fronteira de eficiência relativa às empresas ou organizações sob análise, chamadas genericamente de Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Units – DMUs*). Através deste procedimento não é necessário que as funções de produção sejam especificadas de antemão na sua forma paramétrica.

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolveram um modelo com retornos de escala constantes, que mede a eficiência técnica considerando eficiência de escala unitária. Este modelo, denominado CCR, foi aplicado a setores públicos, sem fins lucrativos e na área de educação.

Em 1985, o modelo de retornos de escala constantes foi associado ao modelo com retornos de escala variáveis, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), possibilitando a análise da eficiência de escala, modelo esse que recebeu o nome abreviado de BCC. As áreas de aplicação se expandiram para hospitais, correios, energia elétrica, bancos, transporte, tribunais, agricultura, manutenção, mineração, farmácias e aviões de combate.

Por volta de 1990 (Seiford, 1995), a técnica de análise envoltória de dados já estava plenamente desenvolvida, mostrando avanços significativos em todas as frentes: modelos, extensões, computação e práticas (Seiford, 1995). Surgiram estudos comparando os vários modelos DEA (Ahn *et al.*, 1988; Charnes *et al.*, 1990; Epstein *et al.*, 1989; Fare *et al.*, 1988; Seiford *et al.*, 1990), que forneceram uma estrutura para o entendimento das hipóteses e exigências implícitas.

Também, neste período, foi desenvolvido o índice de Malmquist (Fare *et al.*, 1989), para examinar as componentes de crescimento de produtividade ao longo do tempo. Foram, ainda, feitas comparações entre as eficiências técnicas, de escala e alocativa (Banker e Maindiratta, 1988; Morey *et al.*, 1990; Retzlaff-Roberts, 1990) e introduzidos também modelos não-convexos (Petersen, 1990), que ampliaram a perspectiva sobre as suposições básicas da DEA.

Várias extensões dos modelos foram desenvolvidas, entre elas estão: capacidade de manusear variáveis não-controláveis e/ou categóricas (Banker e Morey, 1986), habilidade de incorporar restrições aos pesos (Dyson e Thanassoulis, 1988; Wong e Beasley, 1990), o modelo Cone Ratio (Charnes *et al.*, 1989 e 1990), Regiões de Segurança (Thompson *et al.*, 1986 e 1990), e o modelo de relações ordinais (Golany, 1988). Assim como os estudos de sensibilidade e estabilidade (Charnes *et al.*, 1989 e 1990) e invariância de translação (Ali e Seiford, 1990), completando as contribuições teóricas.

As publicações desse período aplicaram DEA a linhas aéreas (Johnston, 1990), sistemas logísticos (Kleinsorge *et al.*, 1989), construções (Shash, 1988), telecomunicações (Majumdar, 1990) e ao Exército dos Estados Unidos (Thomas, 1990).

Aplicações recentes de DEA aos transportes são: a tese de Doutorado de Azambuja (2002), que utilizou DEA na análise de eficiência de empresas de transporte urbano de passageiros, e Novaes (1997, 2001), que aplicou DEA ao estudo de sistemas metroviários.

5.3 Conceituação da Análise Envoltória de Dados

Segundo Norman e Stoker (1991), na abordagem paramétrica a forma funcional mais freqüente é a de Cobb-Douglas (vide Capítulo 4). Nesse contexto, as funções são estimadas com base em métodos de regressão.

Cada unidade é, então, comparada com uma situação média, o que traz vários inconvenientes, visto que, ao se investigar a eficiência através de informações médias, subestimam-se os melhores resultados.

As vantagens dessa abordagem paramétrica resultam da possibilidade de se poder testar as hipóteses com rigor estatístico e obter relações entre insumos e produtos que seguem formas funcionais conhecidas.

Contudo, em muitos casos não existe uma forma funcional conhecida para a função de produção. Na abordagem não-paramétrica, não são feitas suposições sobre a forma da função de produção. Constrói-se empiricamente uma função da melhor prática através de insumos e produtos observados. Esta função é linear por partes e, como tal, seria uma aproximação da função correta, se a mesma existisse.

Os estudos que aplicam Análise Envoltória de Dados (DEA) fornecem novos aspectos e informações não disponíveis em métodos econométricos convencionais. Ao contrário da abordagem paramétrica, a abordagem de programação matemática parece ser um

procedimento mais robusto para estimação da fronteira eficiente. Enquanto os procedimentos estatísticos baseiam-se em tendências centrais, a DEA é um processo de análise de fronteira.

Em vez de tentar ajustar um plano de regressão passando pelo centro dos dados, a DEA define uma superfície linear por partes que se apóia sobre as observações que ficam na envoltória superior.

A DEA analisa cada Unidade de Tomada de Decisão separadamente, e mede a eficiência em relação a todo conjunto de DMUs que está sendo avaliado. Ao contrário dos métodos paramétricos, a DEA é uma forma não-paramétrica de estimação, não sendo necessária nenhuma suposição a priori sobre a forma analítica da função de produção, impondo, como única exigência, que todas as DMUs fiquem sobre ou abaixo da fronteira de eficiência (Seiford e Thrall, 1990).

Segundo Epstein e Henderson (1989), faz parte do conjunto de referência eficiente toda DMU que alcança a máxima relação produto/insumo; a eficiência é então calculada comparando a relação observada em cada DMU com o máximo. A DEA pode também ser vista como uma generalização do fator de produtividade total.

É como se a cada unidade fosse permitido selecionar o conjunto de pesos (ou preços) sobre seus insumos e produtos, que apresentam aquela unidade em sua melhor posição possível, sujeita à condição de que esse dado conjunto de pesos (ou preços) selecionados não apresente, para nenhuma outra DMU, relação maior do que a unidade. Uma DMU que é superior a todas as outras será avaliada como eficiente.

Segundo Seiford e Thrall (1990) e Oum et al. (1992), a técnica DEA permite utilizar múltiplos produtos e múltiplos insumos e não requer suposições fortes, a priori, em relação à tecnologia de produção ou à estrutura de erro. Ela produz um conjunto de medidas de eficiência relativa através da solução de um problema de otimização restrito.

A maior vantagem desta abordagem é que ela não carece do conhecimento de preços de mercado, para insumos e produtos. Ela constrói a tecnologia da fronteira de forma

puramente não-paramétrica, e avalia a eficiência para cada ponto dado, medindo a distância entre a fronteira e aquela observação.

A desvantagem deste método é que não é possível testar se o índice de eficiência, para uma observação específica, é estatisticamente significativo. Isto porque sua identificação não resulta da estimação de um modelo estatístico, mas sim da resolução de um problema de programação linear. Pesquisadores empíricos também notam que a avaliação de eficiência DEA é muito sensível a *outliers* no conjunto de dados.

Segundo Andersen e Petersen (1993), a DEA atribui um escore de eficiência menor do que um para unidades ineficientes. Um escore menor do que um significa que uma combinação linear de outras unidades da amostra poderia produzir o mesmo vetor de produtos, usando um vetor que represente menor consumo de insumos.

O escore reflete a distância radial da fronteira de produção estimada até a DMU que está sendo avaliada, correspondendo ao mínimo decréscimo proporcional em insumos que tornaria a DMU eficiente. A DEA fornece, assim, uma avaliação de performance comparativa para unidades ineficientes.

5.4 Possíveis usos de DEA

Segundo Golany e Roll (1989) e Husain et al. (2000), a técnica DEA pode ser utilizada para:

- Identificação das fontes e valores de ineficiência relativa para cada uma das unidades comparadas, sobre alguma de suas dimensões (insumos ou produtos);
- *Ranking* das unidades por seus resultados de eficiência;
- Comparação das unidades ineficientes, entre si e com aquelas eficientes;
- Avaliação de formas de administração ou programas de controle que gerenciem as unidades comparadas;

- Criação de uma base quantitativa para re-alocação de recursos, entre as unidades avaliadas: o propósito geral é transferir recursos (limitados) para unidades onde os mesmos serão utilizados de forma mais eficaz na geração de produtos desejados;
- Identificação de unidades eficientes (ou relações insumo-produto eficientes) para propósitos não diretamente relacionados à comparação entre unidades: por exemplo, utilizar DEA para elaborar testes de mercado que permitam demonstração de novos produtos;
- Análise e investigação de padrões predominantes de relações insumo-produto frente à performance real;
- Comparação com resultados de estudos prévios;
- Mudanças de graus de eficiências, através do tempo.

5.5 Decomposição da Eficiência Técnica Total sob a ótica da Análise Envoltória de Dados

A eficiência técnica total pode ser decomposta em três componentes:

1. **Eficiência de Escala:** que mede a produção perdida devido a desvios de escala ótima;
2. **Eficiência de Congestionamento:** que mede a produção perdida devido ao congestionamento;
3. **Eficiência Técnica Pura:** que mede o produto perdido resultante da forma de produção utilizada que coloca a DMU em patamar inferior àquele observado na fronteira.

Pearson (1993) define esses conceitos, representando-os graficamente e calculando as respectivas eficiências, conforme detalhado a seguir.

5.5.1 Eficiência Técnica Pura

Para determinar a eficiência técnica total da empresa, a fronteira de produção, assume retornos de escala constantes. Neste caso a função de produção corresponde a uma reta que passa pela origem. A reta é definida de forma que cada observação fique sobre a mesma ou à sua direita.

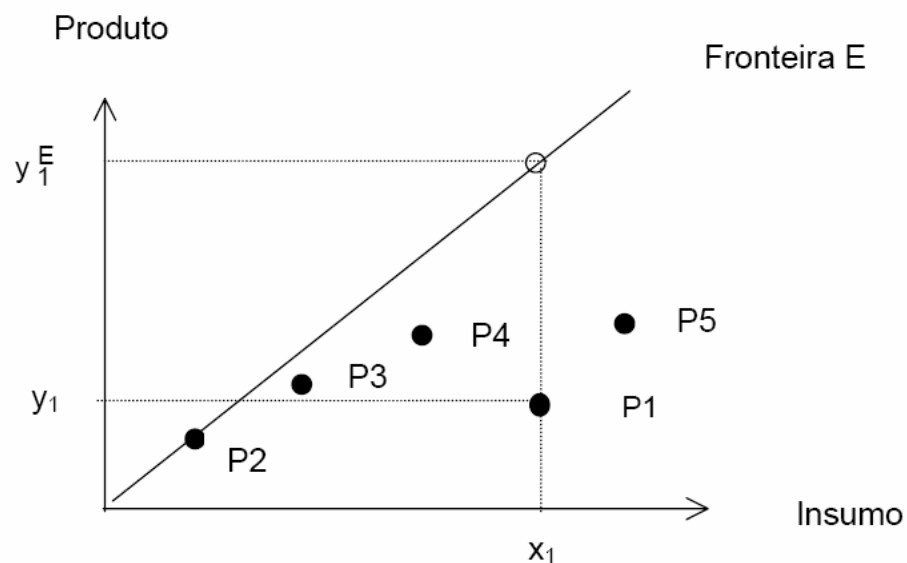


FIGURA 11 – Eficiência Técnica Total

Fonte: Pearson (1993)

Na FIGURA 11, a unidade 2 é a única eficiente. A fronteira E representa a fronteira das melhores práticas. A medida de eficiência para cada unidade corresponde à taxa de seu produto real pelo seu produto potencial, que corresponde àquele que seria obtido se a mesma estivesse sobre a fronteira da melhor prática.

Por exemplo, o produto real da empresa 1 é y_1 . Projetando o insumo da empresa 1 sobre a fronteira da melhor prática, o produto que poderia ser encontrado seria y_1^E .

Assim, a eficiência técnica total da empresa 1:

$$EFT_1 = \frac{y_1}{y_1^E} \quad (27)$$

5.5.2 Eficiência de Escala

Como mencionado anteriormente, a eficiência técnica total é determinada assumindo retornos de escala constantes. Quando tal suposição não é apropriada, pode-se determinar uma fronteira com retornos de escala não constantes e, assim, medir a eficiência de escala. Esta fronteira com retornos de escala não constantes é classificada como fronteira W na FIGURA 12.

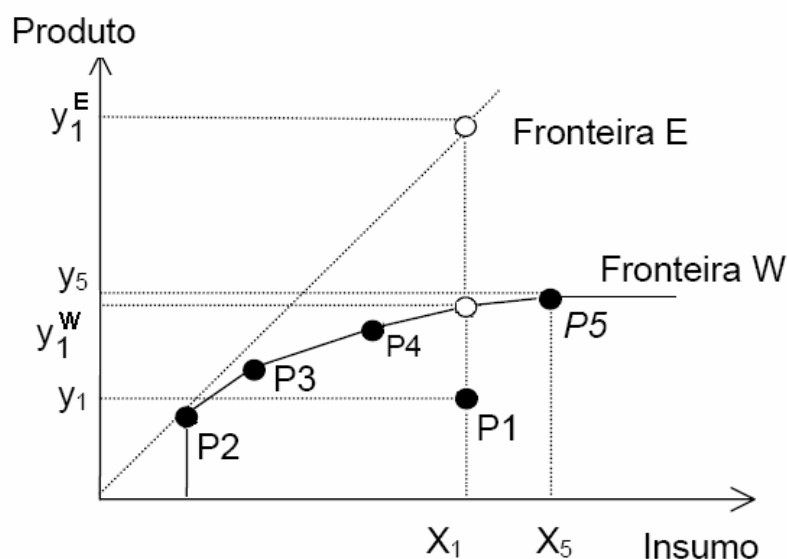


FIGURA 12 – Eficiência de Escala

Fonte: Pearson (1993)

A fronteira W , na FIGURA 12, envolve as unidades consideradas, unindo os pontos mais externos. Além da unidade 5, não há unidades produzindo maior quantidade de produto. A fronteira W continua horizontalmente a partir deste ponto.

Isto ilustra o conceito de descarte livre, isto é, uma unidade usando maior quantidade de insumos do que a unidade 5 precisa ser capaz de, pelo menos, produzir a quantidade de produto y_5 , usando maior quantidade de insumos do que x_5 .

Com base na fronteira W na FIGURA 12, tem-se que a empresa 1 pode alcançar resultado correspondente ao nível de produto y_1^W (uma combinação convexa dos

produtos das unidades 4 e 5). Assim, a eficiência relativa para a fronteira W , no caso de P_1 , é:

$$W_1 = \frac{y_1}{y_1^W} \quad (28)$$

Cuja eficiência de escala é definida como:

$$EFS_1 = \frac{y_1^W}{y_1^E} \quad (29)$$

A eficiência de escala mede a perda de produto devido a desvios da escala ótima (desvios da situação onde existem retornos de escala constantes). A eficiência de escala pode ser medida pela distância entre as duas fronteiras, E e W , para um dado nível de insumo observado na unidade considerada (Pearson, 1993).

Uma unidade eficiente à escala é aquela para a qual o produto potencial é o mesmo, independente da suposição de tipo de retornos à escala. Para uma unidade com ineficiência à escala, o produto potencial máximo sob condições de Retornos de Escala Variável (REV) será menor do que o produto potencial máximo em Retornos de Escala Constantes (REC). Uma unidade pode apresentar ineficiência de escala devido a estar operando em uma condição de retornos à escala superior ou inferior ao seu ótimo.

No primeiro caso ela é afetada por Retornos de Escala Decrescentes (RED), no segundo caso, estará operando em uma escala inferior ao seu ótimo, e será afetada por Retornos de Escala Crescentes (RECR).

5.5.3 Eficiência de Congestionamento

O congestionamento ocorre sempre que o aumento de algum(ns) insumo(s) diminui algum(ns) produto(s) (ou equivalentemente, a diminuição de algum(ns) insumo(s) aumenta algum(ns) produto(s)).

Em definição formal apresentada por Pearson (1993), “se um subconjunto de insumos é mantido fixo, o aumento em outros insumos pode obstruir o produto”. Ou, ainda, “reduzindo o uso de um subconjunto de insumos e mantendo constante o uso de todos insumos restantes, isto gera um aumento no produto.”

Quando, nas FIGURAS 11 e 12, se determinaram às fronteiras de Retorno de Escala Constante e Retorno de Escala Variável para estimar a eficiência técnica total e eficiência de escala, respectivamente, assumiu-se que os insumos estavam fortemente disponíveis.

Isto significa que uma unidade usando mais insumos do que a unidade 5, na FIGURA 12, poderia reduzir aquele consumo para o nível da unidade 5, e potencialmente produzir o produto da unidade 5. No caso de disponibilidade fraca (Coelli *et al.*, 1998) a redução de insumo só é possível quando todos os insumos são reduzidos na mesma proporção.

O produto potencial máximo permitido, no caso da eficiência de congestionamento, é sempre menor ou igual ao produto potencial máximo com Retorno de Escala Variável. A fronteira F (na FIGURA 13), representa o congestionamento, e a fronteira de produto potencial máximo com Retornos de Escala Não Constantes é ilustrada pela fronteira W.

Quando o congestionamento não ocorre, as fronteiras coincidem. Este é o caso dos insumos da unidade 5. Após P5, a fronteira F declina. Após o nível de insumo da unidade 5, os insumos adicionais congestionam os outros insumos tal que o nível de produto prévio começa a declinar.

Na FIGURA 13, examinando a unidade 6:

$$EFT_6 = \frac{y_6}{y_6^E} \quad (30)$$

$$EFS_6 = \frac{y_6^W}{y_6^E} \quad (31)$$

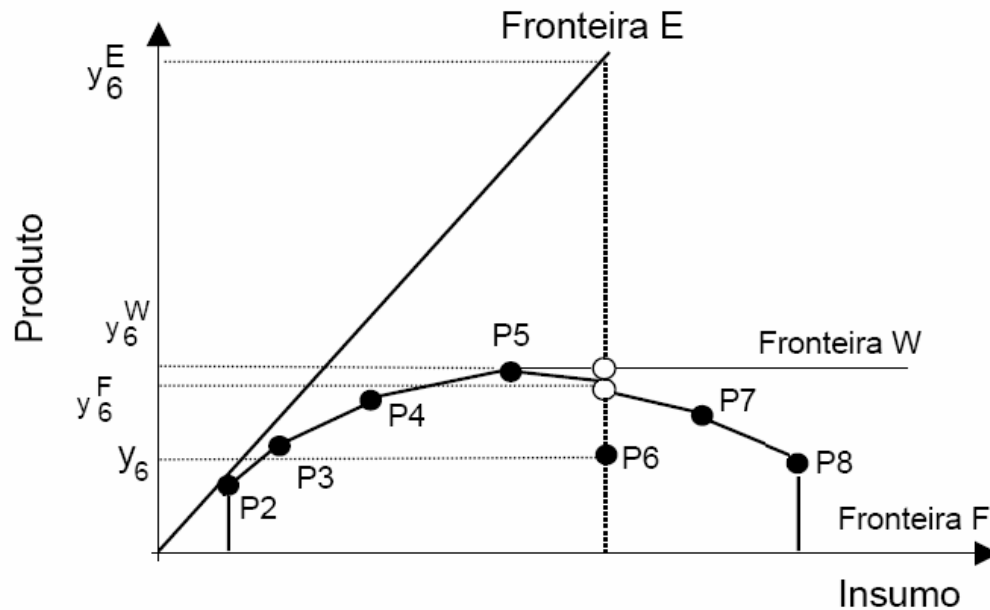


FIGURA 13 – Representação de Congestionamento

Fonte: Pearson (1993)

A fronteira F é a fronteira de produção, assumindo Retorno de Escala Variável e a possibilidade de congestionamento. A eficiência relativa da unidade 6 para esta fronteira de “congestionamento” é:

$$EF_6 = \frac{y_6}{y_6^F} \quad (32)$$

A eficiência de congestionamento para a empresa 6 é definida como:

$$EFC_6 = \frac{y_6^F}{y_6^W} \quad (33)$$

Assim se $EFC_6 = 1$, não existe congestionamento.

Como uma consequência dessas definições, a medida de eficiência total, para uma unidade i , pode ser decomposta como:

$$EFT_i = EFS_i \cdot EFC_i \cdot EF_i \quad (34)$$

A eficiência total é o produto da eficiência de escala pela eficiência de congestionamento e pela eficiência técnica pura.

5.6 Eficiência de Gestão

Cowie e Asenova (1999) definem ainda a *eficiência de gestão*. Suponhamos um caso de aplicação de DEA com n DMUs. A aplicação dos modelos CCR e BCC produz a envoltória de máxima eficiência designada por “amostra plena” na FIGURA 14.

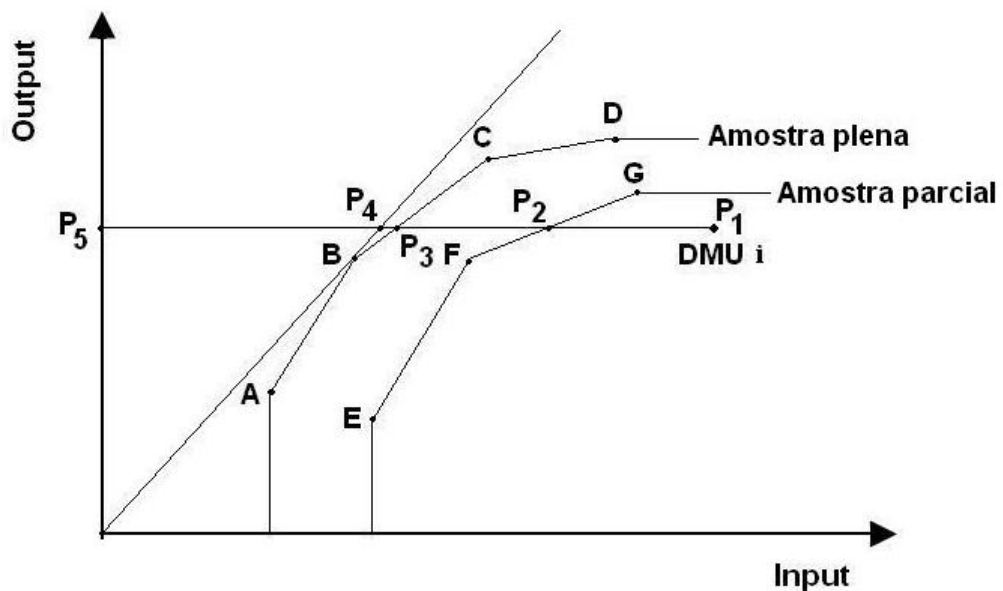


FIGURA 14 - Eficiência de Gestão

Fonte: Cowie e Asenova (1999)

Consideremos agora uma DMU_i representada pelo ponto P_1 na FIGURA 14. A eficiência técnica, conforme visto, é dada pela seguinte relação:

$$ET_i^{(*)} = \frac{\overline{P_1 P_3}}{\overline{P_1 P_5}} \quad (35)$$

Suponhamos agora que se deseja analisar separadamente um subconjunto das DMUs, com a finalidade de diferenças de desempenho em relação à amostra plena.

Suponhamos que esse subconjunto seja formado por k DMUs. Para esta análise, todas as DMUs da amostra parcial necessariamente fazem parte da amostra plena. A aplicação dos modelos CCR e BCC para o subconjunto de k DMUs produz a envoltória de máxima eficiência designada por “amostra parcial” na FIGURA 14. A eficiência técnica é dada agora pela seguinte relação:

$$ET_i^{(**)} = \frac{\overline{P_1 P_2}}{P_1 P_5} \quad (36)$$

Obrigatoriamente se deve observar (Cowie e Asenova, 1999) $ET_i^{(*)} \leq ET_i^{(**)}$ e a eficiência de gestão do subconjunto de k DMUs, comparado com o conjunto pleno de n unidade, é dada por:

$$EG_i = \frac{ET_i^{(*)}}{ET_i^{(**)}} \quad (37)$$

5.7 Modelos DEA Básicos

Os processos e unidades típicos têm múltiplos insumos e múltiplos produtos, que não são utilizados ou produzidos na mesma proporção. Esta complexidade, que não é captada em métodos paramétricos, pode ser incorporada em uma medida de eficiência da seguinte forma (Boussofiane et al., 1991):

$$Eficiência = \frac{\text{soma ponderada dos produtos}}{\text{soma ponderada dos insumos}}$$

Esta definição requer um conjunto de pesos, cuja definição pode se tornar complexa, principalmente quando se busca um conjunto comum, a ser aplicado em todas as unidades.

A característica chave dos modelos DEA é que os pesos são tratados como desconhecidos. Eles serão escolhidos pelo modelo de forma a maximizar a eficiência da unidade observada. A eficiência desta unidade será igual a 1 caso a mesma seja

eficiente em relação às outras unidades, ou será menor que 1 caso seja ineficiente. Para uma unidade ineficiente, a solução identifica as unidades eficientes que servirão de referência para a mesma. Os valores dos pesos geralmente diferem de unidade para unidade.

Segundo Ali e Seiford (1993) e Charnes *et al.* (1996), os vários modelos DEA tentam estabelecer, essencialmente, os conjuntos de “n” DMUs que determinam as partes de uma superfície envoltória. A geometria desta superfície envoltória depende do modelo DEA empregado.

Para ser eficiente, a DMU analisada, precisa estar sobre a envoltória. As unidades que não estão sobre a envoltória são consideradas ineficientes, e a análise DEA identifica as fontes e a dimensão desta ineficiência, além de fornecer uma medida de eficiência relativa. A superfície envoltória, conhecida também como fronteira de eficiência, serve para caracterizar a eficiência e identificar as ineficiências.

Assumindo-se que existam “n” unidades de tomada de decisão (DMUs) a serem avaliadas, onde cada DMU consome quantias variáveis de “m” diferentes insumos para produzir “s” diferentes produtos.

A matriz $s \times n$ de medidas de produtos é denotada por Y e a matriz $m \times n$ de medidas de insumos é denotada por X . Assim, a DMU_j consome quantidades $X_j = \{x_{ij}\}$ de insumos ($i = 1, \dots, m$) e produz quantidades $Y_j = \{y_{rj}\}$ de produtos ($r = 1, \dots, s$). Assume-se, ainda, que $x_{ij} > 0$ e $y_{rj} > 0$. A partir dessas denotações, podem-se apresentar os diversos modelos DEA.

A seguir serão apresentados os modelos DEA básicos para avaliação de eficiência.

5.7.1 Modelo Aditivo

Segundo Ali e Seiford (1993), o modelo aditivo é representado por um par de problemas de programação linear, apresentados na TABELA 1.

A superfície envoltória consiste de porções de hiperplanos suportantes que formam facetas da envoltória convexa que envolve a totalidade das observações.

Cada hiperplano é suportante (e forma uma faceta da superfície envoltória) se, e somente se, todos os pontos observados situam-se sobre ou sob o hiperplano e, além disso, se o hiperplano tangencia, pelo menos, um dos pontos. A função objetivo mede a distância da DMU_j a este hiperplano.

A maximização da função objetivo seleciona um hiperplano que minimiza essa distância. Quando o valor da função objetiva é igual à zero, a DMU_j fica sobre este hiperplano.

As DMUs ineficientes ficam abaixo do hiperplano, correspondendo a valores diferentes de zero na função objetivo, otimizada para cada uma delas (Ali e Seiford, 1993).

No Primal do Problema de Programação Linear, apresentado na TABELA 1, o ponto $(y_{r1}$ e $x_{i1})$ representa os valores de insumos e produtos observados para aquela unidade. Para que a unidade atinja a fronteira, suas folgas de produto (s_r) e excessos em insumos (e_i) são minimizadas.

O ponto projetado sobre essa superfície será definido como uma combinação convexa (retornos variáveis) ou linear (retornos constantes) das unidades que se encontram sobre essa superfície (representados, respectivamente por $\sum_{j=1}^n y_{rj}$ e $\sum_{j=1}^n x_{ij}$).

Quando minimizando folgas de produtos ou excessos em insumos, projeta-se o hiperplano, gerado para cada unidade, sobre a superfície envoltória, maximizando essa função, através do dual.

A realização de uma análise DEA requer a solução de "n" problemas de programação linear da forma acima, um para cada unidade de tomada de decisão "l". A solução ótima para cada programa é dada pelos multiplicadores virtuais $(\mu^l, v^l$ e $\varpi^l)$ (dual). Assim, uma unidade de tomada de decisão "l" é eficiente se a mesma ficar sobre uma faceta que define o hiperplano $\mu^l y - v^l x + \varpi^l = 0$ da superfície envoltória.

TABELA 1 – Problemas de programação linear, primal e dual, para o modelo aditivo com retornos de escala variáveis e constantes.

Retornos de Escala Variáveis	
Primal	Dual
$\text{Min}_{\lambda_j, s_r, e_i} - \left(\sum_{r=1}^s s_r + \sum_{i=1}^m e_i \right)$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r = y_{rl} \quad r = 1, \dots, s$ $- \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - e_i = -x_{il} \quad i = 1, \dots, m$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$ $s_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, s$ $e_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$	$\text{Max}_{\mu_r, v_i, \varpi} \left(\sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{il} v_i + \varpi \right)$ $\sum_{r=1}^s y_{rj} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i + \varpi \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$ $\mu_r \geq 1 \quad r = 1, \dots, s$ $v_i \geq 1 \quad i = 1, \dots, m$
Retornos de Escala Constantes	
Primal	Dual
$\text{Min}_{\lambda_j, s_r, e_i} - \left(\sum_{r=1}^s s_r + \sum_{i=1}^m e_i \right)$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r = y_{rl} \quad r = 1, \dots, s$ $- \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - e_i = -x_{il} \quad i = 1, \dots, m$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$ $s_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, s$ $e_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$	$\text{Max}_{\mu_r, v_i, \varpi} \left(\sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{il} v_i + \varpi \right)$ $\sum_{r=1}^s y_{rj} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i + \varpi \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$ $\mu_r \geq 1 \quad r = 1, \dots, s$ $v_i \geq 1 \quad i = 1, \dots, m$

Fonte: Ali e Seiford (1993)

Cada um dos "n" conjuntos de valores $(\mu^l, v^l \text{ e } \varpi^l)$ $l=1, \dots, n$ obtidos, são os coeficientes dos hiperplanos suportantes que definem as facetas da superfície envoltória. Os hiperplanos suportantes para as DMUs eficientes englobam os hiperplanos das DMUs ineficientes.

Outra forma de representar os hiperplanos das DMUs eficientes é através do primal da programação linear envolvendo os multiplicadores.

A solução ótima da programação linear primal consiste dos vetores s^l (folga de produtos), e^l (excesso de insumos) e λ^l .

O vetor λ^l define um ponto:

$$(\hat{Y}_l, \hat{X}_l) = \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^l Y_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j^l X_j \right) \quad (38)$$

que é uma combinação convexa $\sum_{j=1}^n \lambda_j^l = 1$ de unidades que ficam sobre uma faceta da superfície envoltória. Se $\lambda_l^l = 1$, $\lambda_j^l = 0$ para $j \neq l$, então a DMU_l fica sobre a superfície envoltória e é eficiente.

Assim, $(\hat{Y}_l, \hat{X}_l) = (Y_l, X_l)$ para uma DMU_l eficiente. Para uma DMU_l que é ineficiente, isto é, não fica sobre a superfície envoltória, o ponto (\hat{Y}_l, \hat{X}_l) refere-se a um ponto projetado. O ponto projetado também pode ser expresso como:

$$(\hat{Y}_l, \hat{X}_l) = \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^l Y_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j^l X_j \right) = (Y_l + s^l, X_l + e^l) \quad (39)$$

Os vetores s^l e e^l medem a distância entre uma DMU_l ineficiente (Y_l, X_l) e seu ponto projetado (\hat{Y}_l, \hat{X}_l) sobre a superfície envoltória.

Uma superfície envoltória, com Retornos de Escala Constantes, é composta de hiperplanos que formam as facetas da superfície dos pontos (Y_j, X_j) $j = 1, \dots, n$, e que possui forma cônica. Ao contrário da superfície anterior, todos os hiperplanos suportantes para uma envoltória com retornos de escala constantes passam pela origem. Assim, $w = 0$. Neste caso, a solução ótima para o problema do multiplicador (problema dual), para a DMU_l, é dada pelos vetores μ^l e v^l ; a DMU_l é eficiente se ela ficar sobre um hiperplano que define a faceta, $\mu^l y - v^l x = 0$ da superfície envoltória.

Os valores ótimos das variáveis, para o problema da envoltória com retornos de escala constantes, para a DMU_i , também são denotados pelos vetores de folga de produtos (s^l), excesso de insumos (e^l) e o vetor λ^l .

Neste caso, o vetor λ^l também define um ponto projetado da mesma forma como foi definido na equação (38), contudo, no caso de envoltória com retornos de escala constantes, o ponto (\hat{Y}_i, \hat{X}_i) é uma combinação linear de unidades eficientes que ficam sobre uma faceta da superfície envoltória.

O ponto projetado também pode ser representado em termos do vetor de folga de produtos (s^l) e do vetor de excesso de insumos (e^l) como definido na equação (39).

As principais diferenças entre os retornos de escala variáveis e constantes, no modelo aditivo, são (Ali e Seiford, 1993):

- A restrição de convexidade $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, presente no modelo com retornos de escala variáveis, restringe à combinações convexas de DMUs (ao contrário da combinação linear, permitida em retornos de escala constantes).
- No modelo com retornos de escala constante, a equação do hiperplano não possui o intercepto ϖ ; assim, o hiperplano suportante precisa passar pela origem.
- Uma vez que os modelos com retornos de escala constantes não possuem a restrição de convexidade, induz a que se encontrem escores de eficiência mais baixos; assim, se espera obter um número menor de DUMs eficientes para uma envoltória com retornos de escala constantes, em relação à condição de retornos variáveis à escala.

As FIGURAS 15 e 16 representam à superfície envoltória para o modelo aditivo e projetam unidades ineficientes sobre essa superfície para ambos os problemas de programação: hiperplanos suportantes (dual) e vetores de folga (primal).

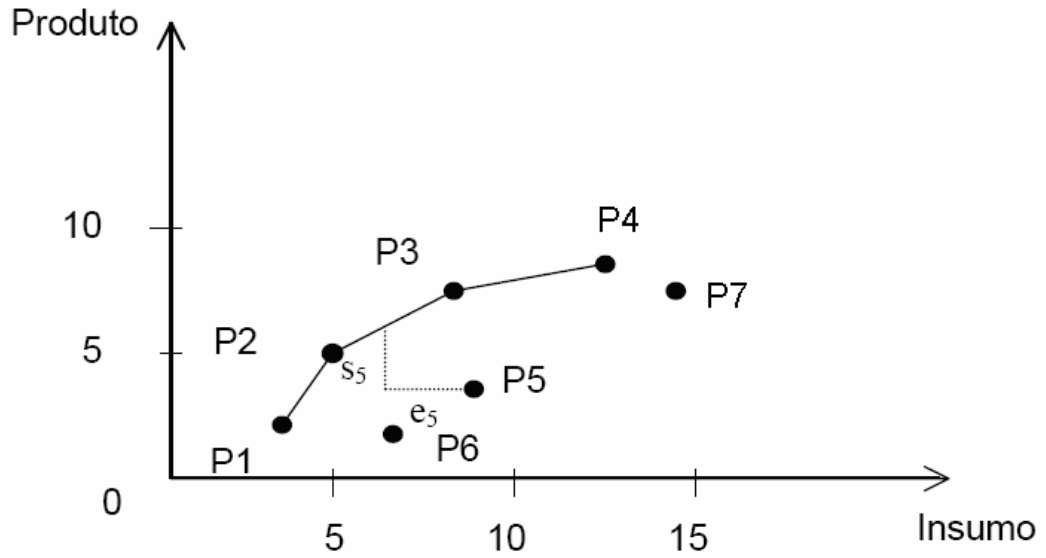


FIGURA 15 – Superfície Envoltória para o Modelo Aditivo para as Unidades.

Fonte: Charnes et al. (1996).

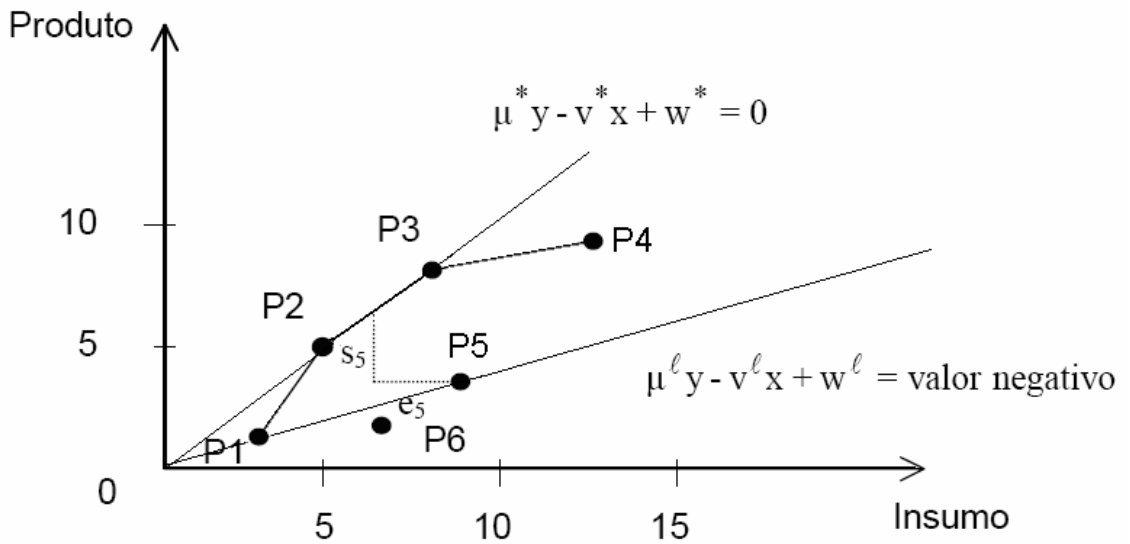


FIGURA 16 – Faceta definindo o Hiperplano para o Modelo.

Fonte: Charnes et al. (1996).

5.7.2 Modelos Orientados

Existem outras formas para mover uma DMU ineficiente até a superfície envoltória. Segundo Ali e Seiford (1993), métodos alternativos foram propostos por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) (Modelo CCR) e correspondem à orientação para produto ou para insumo. Na orientação para insumo o enfoque está na redução de insumos, enquanto que a orientação para produto concentra-se sobre o aumento de produto.

O aumento nos produtos e a redução nos insumos, definidos por (s^l, e^l) , podem ser divididos em duas componentes: a primeira consiste de uma redução de insumos ou aumento de produtos proporcionais e, a segunda componente refere-se a uma redução de insumos ou aumento de produtos residuais, conforme descrito a seguir:

$$s^l = \varphi Y_l + \delta_s^l \quad (40)$$

$$e^l = \tau X_l + \delta_e^l \quad (41)$$

onde:

s^l - folga de produtos;

φ - aumento proporcional de produtos;

Y_l - vetor de produtos observado;

δ_s^l - aumento residual adicional individual de produtos;

e^l - excesso de insumos;

τ - redução proporcional de insumos;

X_l - vetor de insumos observado;

δ_e^l - redução residual adicional individual de insumos.

Assim, enquanto o vetor produto pode ser ampliado proporcionalmente por um fator de “ φ ” seus aumentos residuais adicionais individuais são dados por δ_s^l (pelo menos um dos produtos deve ter folga igual à zero).

Da mesma forma, o vetor insumo para a unidade "l" pode ser reduzido proporcionalmente (em cada componente) por um fator de " τ ". Os decréscimos residuais em cada uma das variáveis de insumo são dados por (pelo menos um dos insumos deste vetor deve ter folga igual à zero).

A quantia de aumento proporcional de produtos (φ) e decréscimo proporcional de insumos (τ) possível para o ponto projetado é dada por:

$$\varphi = \min_{r=1,\dots,s} \frac{\hat{y}_{rl} - y_{rl}}{y_{rl}} \geq 0 \quad (42)$$

$$\tau = \min_{i=1,\dots,m} \frac{x_{il} - \hat{x}_{il}}{x_{il}} \geq 0 \quad (43)$$

Os aumentos e decréscimos proporcionais intrínsecos servem para explicar parcialmente a discrepância total entre o ponto observado (Y_j, X_j) e um ponto projetado (\hat{Y}_l, \hat{X}_l) . Então, é preciso acrescentar na medida de discrepância as componentes residuais.

Assim:

$$\Delta^l = -\varphi(\mu^l Y_l) - \tau(v^l X_l) - \mu^l \delta_s^l - v^l \delta_e^l \quad (44)$$

Desta forma, a discrepância total consiste de uma componente devido ao aumento proporcional em produtos, uma componente devido à redução proporcional em insumos, e componentes devido a aumentos residuais (não proporcionais) em produtos e reduções residuais (não proporcionais) em insumos.

O ponto projetado é obtido primeiro identificando um ponto intermediário $[(1+\varphi)Y_l, (1-\tau)X_l]$ (obtido pelo aumento/redução proporcional) e, depois, obtendo o ponto projetado (\hat{Y}_l, \hat{X}_l) , através do aumento/redução residual (δ_s^l, δ_e^l) .

5.7.2.1 Orientação para Insumo

Os modelos orientados para insumo empenham-se em maximizar os decréscimos proporcional e residual em variáveis de insumo, respeitando o espaço da envoltória (conjunto de possibilidades de produção).

Um decréscimo proporcional é possível até que, pelo menos uma das variáveis de insumo em excesso se torne nula. Este máximo decréscimo proporcional é obtido no primeiro estágio do problema. O ponto resultante é empregado no segundo estágio do programa para obter o ponto projetado.

Os modelos de orientação para insumo empregam uma constante não-arquimediana ε para expressar a solução seqüencial (dois estágios) de um par de modelos. Esses modelos são indicados na TABELA 2.

Onde:

$$\theta = 1 - \tau \quad (45)$$

Assim, θ representa a proporção do vetor de insumo resultante após o decréscimo proporcional.

No problema primal da programação linear, representada na TABELA 2, minimizam-se os excessos proporcionais em insumos e residuais tanto em insumos como em produtos. O dual maximiza o hiperplano de cada unidade como forma das mesmas atingirem a fronteira.

Segundo Ali e Seiford (1993), os modelos aditivo e multiplicativo indicam o efeito das formulações, em um único estágio, usando zero para os limites inferiores sobre os multiplicadores, e usando θ como a única medida de eficiência.

Esses modelos ignoram folgas de produto e excessos de insumos residuais não-proporcionais, podendo classificar uma unidade como eficiente quando a mesma é ineficiente. Ao contrário, as formulações dos modelos não-arquimediano classificam, de forma adequada, as unidades ineficientes.

TABELA 2 – Problemas de programação linear, primal e dual, para o modelo com orientação para insumo com retornos de escala variáveis e constantes.

Retornos de Escala Constantes (Modelo CCR)	
Primal	Dual
$\begin{aligned} & \underset{\theta, \lambda, s, e}{\text{Min}} \quad \theta - \varepsilon(1s + 1e) \\ & Y\lambda - s = Y_l \\ & \theta X_l - X\lambda - e = 0 \\ & \lambda \geq 0 \\ & s \geq 0 \\ & e \geq 0 \end{aligned}$	$\begin{aligned} & \underset{\mu, v}{\text{Max}} \quad \mu Y_l \\ & v X_l = 1 \\ & \mu Y - v X \leq 0 \\ & \mu \geq \varepsilon_1 \\ & v \geq \varepsilon_1 \end{aligned}$
Retornos de Escala Variáveis (Modelo BCC)	
Primal	Dual
$\begin{aligned} & \underset{\theta, \lambda, s, e}{\text{Min}} \quad \theta - \varepsilon(1s + 1e) \\ & Y\lambda - s = Y_l \\ & \theta X_l - X\lambda - e = 0 \\ & 1\lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \\ & s \geq 0 \\ & e \geq 0 \end{aligned}$	$\begin{aligned} & \underset{\mu, v}{\text{Max}} \quad \mu Y_l + \varpi \\ & v X_l = 1 \\ & \mu Y - v X + 1\varpi \leq 0 \\ & \mu \geq \varepsilon_1 \\ & v \geq \varepsilon_1 \end{aligned}$

Fonte: Ali e Seiford (1993)

A comparação entre os modelos de retornos de escala constantes e variáveis, apresentada para o modelo aditivo, também se aplica aos modelos CCR e BCC.

O mesmo se dá com respeito à restrição de convexidade ($\sum_{j=1}^n \lambda = 1$) e à variável ϖ , em torno de seus efeitos sobre a superfície envoltória.

A FIGURA 17 representa o modelo BCC com orientação para insumos.

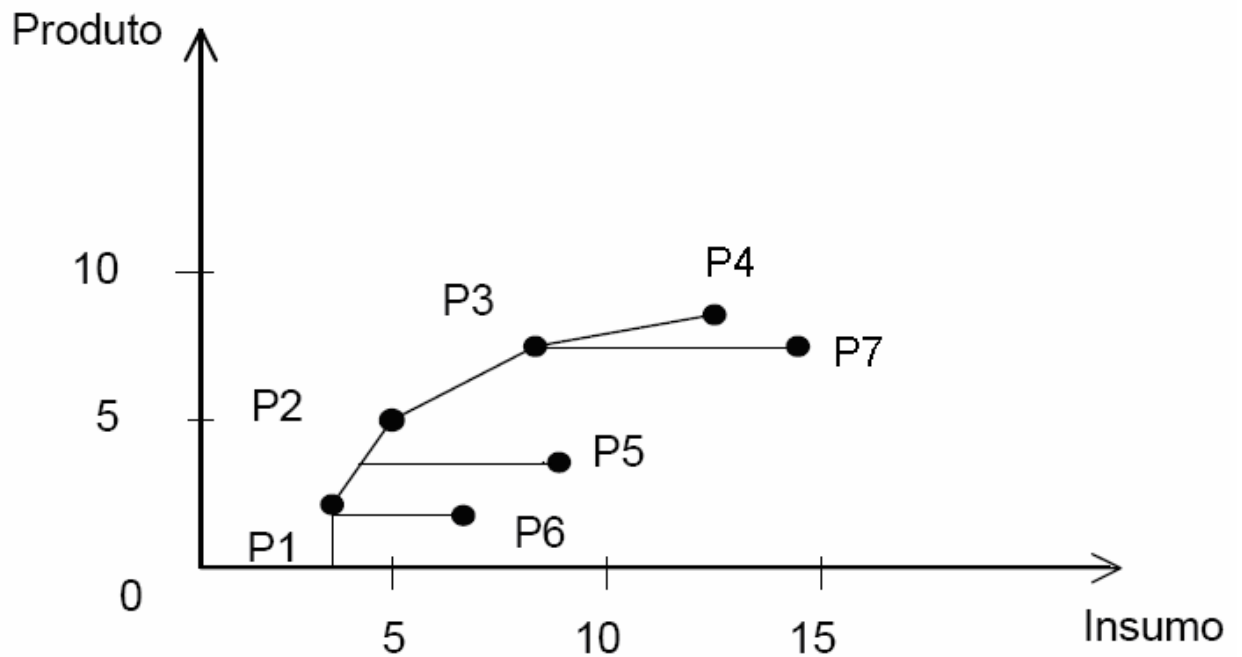


FIGURA 17 – Superfície Envoltória para o Modelo BCC orientado para insumo

Fonte: Charnes et al. (1996)

5.7.2.2 Orientação para Produto

Segundo Ali e Seiford (1993), os modelos orientados para produto maximizam o aumento proporcional no vetor produto enquanto permanecendo dentro do espaço da envoltória.

Um aumento proporcional é possível até que, pelo menos uma das variáveis de folga de produto alcance valor nulo.

Os modelos não-arquimediano de orientação para produto são dados na TABELA 3.

TABELA 3 – Problemas de programação linear, primal e dual, para o modelo com orientação para produto com retornos de escala variáveis e constantes.

Retornos de Escala Constantes (Modelo CCR)	
Primal	Dual
$\begin{aligned} \underset{\varphi, \lambda, s, e}{\text{Min}} \quad & \varphi + \varepsilon(1s + 1e) \\ & \varphi Y_l - Y\lambda + s = 0 \\ & X\lambda + e = X_l \\ & \lambda \geq 0 \quad s \geq 0 \quad e \geq 0 \end{aligned}$	$\begin{aligned} \underset{\mu, v}{\text{Max}} \quad & vX_l \\ & \mu Y_l = 1 \\ & -\mu Y + vX \geq 0 \\ & \mu \geq \varepsilon_1 \quad v \geq \varepsilon_1 \end{aligned}$
Retornos de Escala Variáveis (Modelo BCC)	
Primal	Dual
$\begin{aligned} \underset{\varphi, \lambda, s, e}{\text{Min}} \quad & \varphi + \varepsilon(1s + 1e) \\ & \varphi Y_l - Y\lambda + s = 0 \\ & X\lambda + e = X_l \\ & 1\lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \quad s \geq 0 \quad e \geq 0 \end{aligned}$	$\begin{aligned} \underset{\mu, v, \varpi}{\text{Max}} \quad & vX_l + \varpi \\ & \mu Y_l = 1 \\ & -\mu Y + vX + \varpi \geq 0 \\ & \mu \geq \varepsilon_1 \\ & v \geq \varepsilon_1 \end{aligned}$

Fonte: Ali e Seiford (1993)

Onde:

$$\phi = 1 + \varphi \quad (46)$$

Assim, ϕ representa a proporção do vetor de produto resultante após o aumento proporcional.

A ausência da restrição de convexidade estende a região provável da casca convexa, considerada no modelo BCC, para uma casca cônica no modelo CCR. Com isso, se tem uma redução no número de DMUs eficientes.

A FIGURA 18 representa a superfície envoltória para o Modelo BCC orientado para produto.

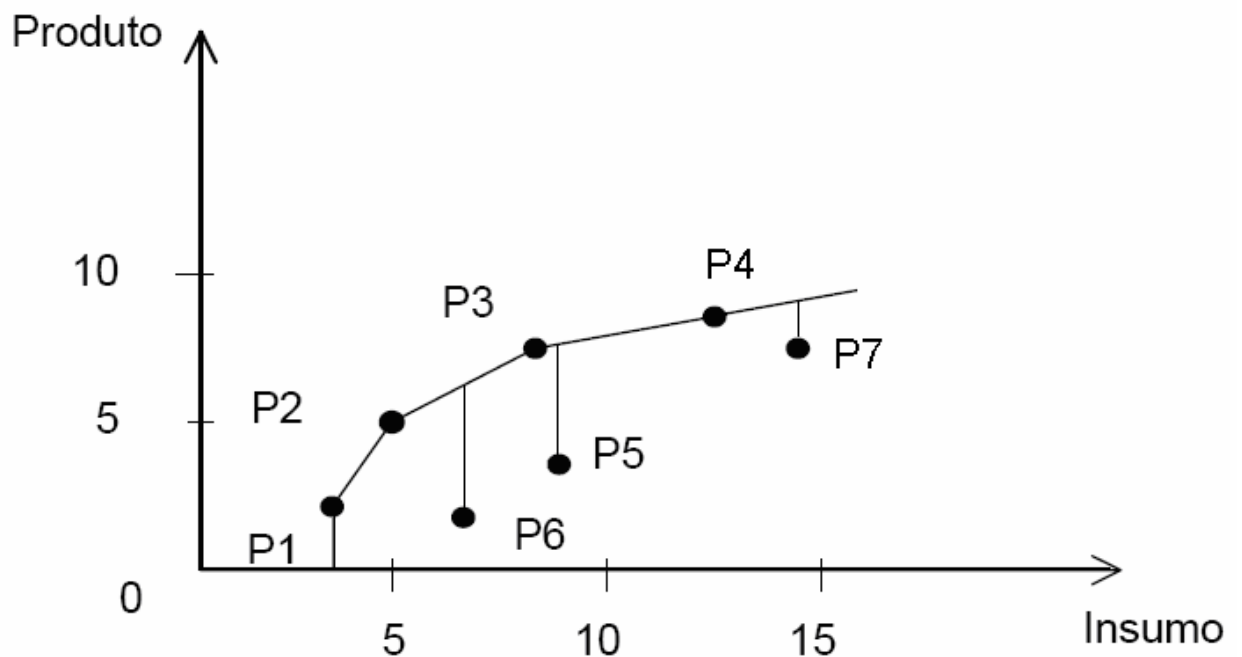


FIGURA 18 – Superfície Envoltória para o Modelo BCC orientado para Produto

Fonte: Charnes et al. (1996)

Enquanto as superfícies envoltórias são idênticas para ambas as orientações (insumo e produto), uma DMU ineficiente é projetada para pontos diferentes sobre a superfície envoltória.

Isto simplesmente reflete o enfoque da orientação, isto é, define que a ênfase é sobre a redução de insumo ou para acréscimo no produto. As características de eficiência são, por outro lado, as mesmas: um valor ótimo da função objetiva é aquele onde todas as folgas são iguais à zero.

Segundo Ali e Seiford (1993), os modelos aditivos, orientados para insumo ou produto, produzem superfícies envoltórias e conjuntos de DMUs ineficientes e eficientes idênticos, variando, somente, os escores de eficiência e os pontos projetados.

As FIGURAS 19 e 20 representam, para o Modelo CCR, a superfície envoltória orientada para insumo e o hiperplano suportante orientado para produto, respectivamente.

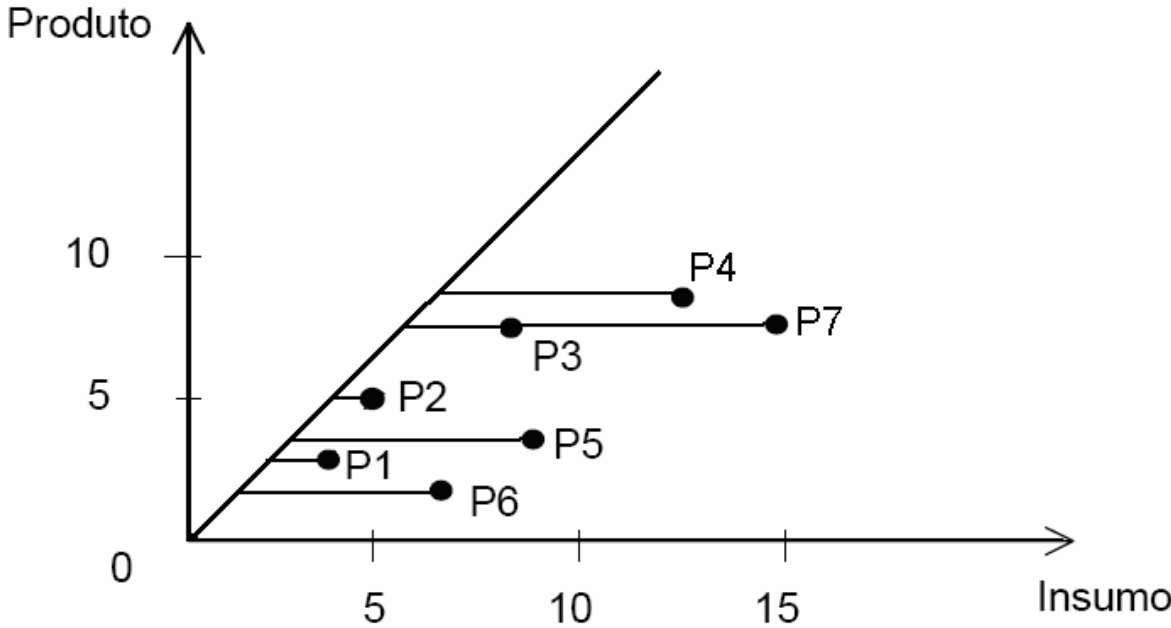


FIGURA 19 – Superfície Envoltória para o Modelo CCR orientado para Insumo

Fonte: Charnes et al. (1996)

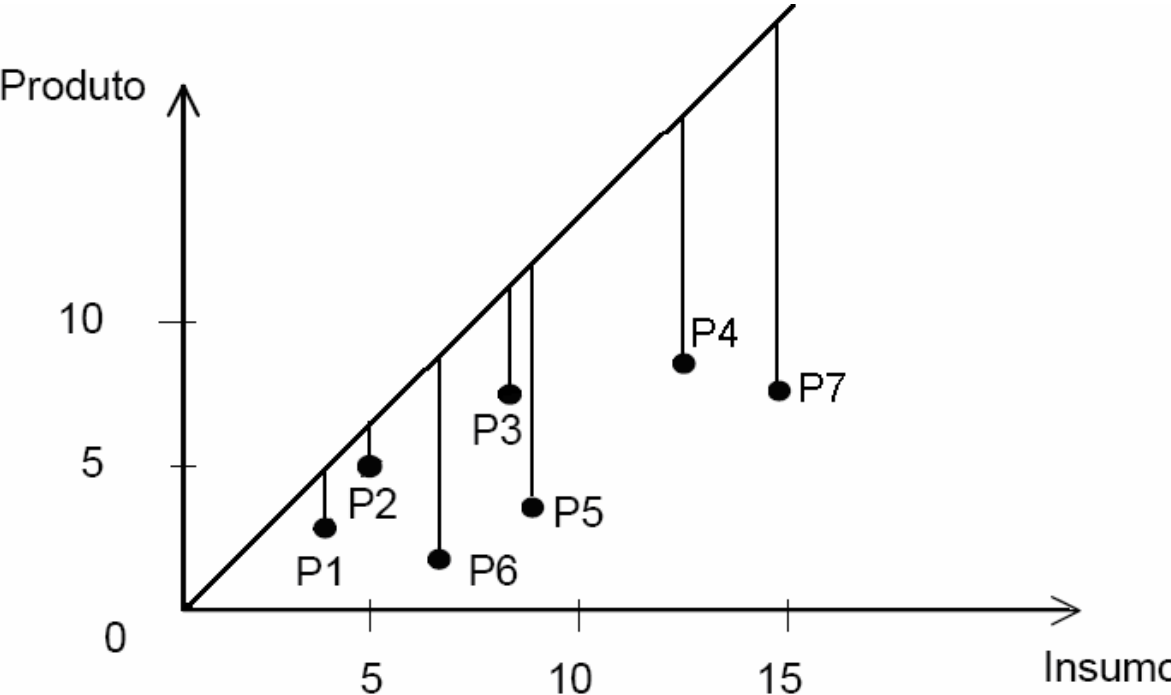


FIGURA 20 – Hiperplano Suportante para o Modelo CCR orientado para o Produto

Fonte: Charnes et al. (1996)

5.8 Restrições aos Pesos

Novaes (2001) comenta que a técnica DEA para medir eficiência permite que os pesos de insumos e produtos variem livremente, sem nenhuma restrição a priori. Em algumas situações, para que uma DMU possa se tornar eficiente, os pesos atribuídos às variáveis pelo DEA se mostram irrealistas.

Ademais, nos vetores de pesos ótimos dos modelos DEA para DMUs ineficientes, pode-se encontrar valores nulos, indicando que a DMU apresenta fragilidade naqueles itens, comparativamente à outras DMUs eficientes. Outro fato que deve ser levado em conta para restringir pesos, corresponde à grande diferença percebida nos pesos de uma determinada variável, entre as várias DMUs.

Vários autores têm se dedicado à questão dos pesos na Análise Envoltória de Dados, destacando-se Dyson e Thanassoulis (1988), Charnes *et al.* (1989), Roll e Golany (1993), Thompson *et al.* (1990), Pedraja-Chaparro *et al.* (1997), Podinovsky e Athanassopoulis (1998), Cooper *et al.* (2000), Novaes (2001)

Segundo Roll e Golany (1993), uma diferença básica entre a DEA e a função de produção convencional, na análise da produtividade, está na flexibilidade dos pesos dos fatores, no que se refere ao primeiro método. Enquanto na função de produção os pesos são constantes e uniformes, na DEA eles podem tomar diferentes valores para diferentes DMUs.

No entanto, a total flexibilidade na escolhas dos pesos tem sido criticada por várias razões (Pedraja-Chaparro *et al.*, 1997):

- Os fatores de importância secundária podem eventualmente dominar na avaliação de eficiência de uma DMU. Se os inputs e outputs incluídos na análise não são de igual importância, não é sensato alegar que uma DMU é relativamente eficiente se os pesos atribuídos a insumos e produtos importantes forem nulos. A total flexibilidade do modelo pode levar a uma impropriedade ênfase na eficiência da utilização de insumos que são relativamente pouco importantes ou na produção de

produtos que também são relativamente pouco importantes, ocultando a ineficiência de algumas atividades relevantes de uma DMU.

- Importantes fatores podem ser ignorados em toda a análise na aplicação de DEA sem qualquer restrição dos pesos. Alguns insumos e produtos podem não ser considerados na avaliação da eficiência relativa de algumas DMUs. Assim, pode ser difícil aceitar que após uma meticulosa seleção dos insumos e produtos por parte do analista, alguns desses fatores acabem com pesos nulos.
- A suposição implícita sobre a flexibilidade da escolha dos pesos em *DEA* é de que as DMUs analisadas podem ter objetivos individuais e circunstâncias específicas que deverão ser considerados quando avaliados. No entanto, na análise sob a ótica *DEA*, as DMUs apresentam certo grau de homogeneidade, uma vez que produzem o mesmo tipo de outputs e possuem os mesmos objetivos globais. Assim, supor que a importância relativa anexada aos diferentes inputs e outputs de cada DMU possa ser muito diferente entre si, não parece aceitável. Embora certo grau de flexibilidade sobre os pesos possa ser desejável para que as DMUs reflitam as suas circunstâncias particulares, muitas vezes pode ser inaceitável que os pesos possam variar consideravelmente de uma DMU para outra.

Essas afirmações parecem conter um dilema. Por um lado, um certo grau de flexibilidade é desejável, uma vez que variações nos pesos podem refletir diferentes circunstâncias e diferentes objetivos das DMUs a serem avaliadas. Por outro lado, a total flexibilidade pode disfarçar graves ineficiências relacionadas a algumas DMUs.

Assim, parece haver um bom argumento para considerar a admissão de restrições nos pesos, embora a não flexibilidade total na formação dos pesos eliminaria a necessidade de utilização do *DEA*, engessando-o.

A introdução de restrições aos pesos em *DEA* constitui um processo de natureza geral. No entanto, os pesos somente devem ser fixados pelo analista após a aplicação do modelo *DEA* sem qualquer restrição, observando então as possíveis distorções geradas pelo modelo convencional.

Algumas formas de limitação de pesos em DEA foram analisadas, discutidas e aplicadas na literatura. A seguir, são apresentadas as principais (Pedraja-Chaparro *et al.*, 1997; Cooper *et al.*, 2000).

Uma abordagem para a limitação do peso é impor limites numéricos para os pesos V_i dos inputs e para os pesos U_r dos outputs:

$$Q2_i \leq V_i \leq Q1_i \quad (47)$$

$$P2_r \leq U_r \leq P1_r \quad (48)$$

Esta abordagem foi desenvolvida por Dyson e Thanassoulis (1988), que analisaram as restrições dos pesos para o caso em que as DMUs consumem um único input e produzem vários outputs, método posteriormente generalizado por Roll, Cook e Golany (1991).

Embora o método seja bastante geral, sofre a possibilidade de ser gerado um problema de programação linear matematicamente inviável.

A fim de contornar o problema da inviabilidade matemática, Thompson *et al.* (1990) desenvolveram o método "região de garantia", ou *assurance region method*, em Inglês. Os limites da "região de garantia" são da forma:

$$k_r U_1 \leq U_r \leq l_r U_1 \quad (49)$$

$$p_i V_1 \leq V_i \leq q_i V_1 \quad (50)$$

onde os vetores k , l , p e q devem ser estimados pelo analista com base em seus conhecimentos sobre o fenômeno investigado.

Conforme Thompson *et al.* (1990) destacaram, "região de garantia" pode ser aumentada sucessivamente pelo analista até que um nível satisfatório de eficiência seja atingido sob o ponto de vista da "ótica do usuário", que, em última instância, é melhor juiz sobre os resultados do modelo.

O “método da relação cônica” (cone ratio method) foi desenvolvido por Charnes, Cooper, Wei e Huang (1989). Os pesos agora obedecem a relações entre variáveis diferentes, do tipo (Cooper *et al.*, 2000):

$$k_{i,j} \leq \frac{U_j}{U_i} \leq l_{i,j} \quad (51)$$

$$p_{i,j} \leq \frac{V_j}{V_i} \leq q_{i,j} \quad (52)$$

onde i e j representam inputs ou outputs diferentes.

Outras formas de restrição dos pesos em DEA são relatadas na literatura (Pedraja-Chaparro *et al.*, 1997), mas os métodos apresentados são os mais utilizados.

5.9 Algumas limitações na aplicação do Método DEA

Coelli *et al.* (1997) e Paiva Júnior e Lima Júnior (1999), apontam algumas limitações e possíveis problemas que podem ser encontrados na aplicação do método DEA, a exemplo de:

- O método DEA requer apenas uma observação sobre cada DMU, para descrevê-lo, por isto é mais sensível a erros nas medidas. Os erros de medidas e outros distúrbios podem influenciar a forma e a posição da fronteira.
- Os *outliers* podem influenciar os resultados.
- A exclusão de um insumo ou produto importante pode determinar resultados viesados.
- Deve-se ter cuidado quando se comparam os escores de eficiência média de dois estudos. Eles somente refletem a dispersão de eficiências dentro de cada amostra; eles não dizem nada sobre a eficiência de uma amostra relativa à outra amostra.

- A adição de uma unidade extra em uma análise DEA não pode resultar em um aumento nos escores de eficiência técnica das unidades existentes. Mas pode resultar em aumento de ineficiência de todas as demais unidades.
- Como a DEA é baseada em pontos extremos, é muito sensível à especificação das variáveis.
- Com o aumento do número de variáveis, a habilidade de discriminação decresce devido ao aumento das relações dimensionais existentes entre produtos, insumos e DMUs para a formação da fronteira de produção. Quando se têm poucas observações e muitos insumos e/ou produtos, muitas das unidades aparecerão sobre a fronteira DEA.
- O tratamento de insumos e/ou produtos como variáveis homogêneas quando são heterogêneas poderá levar a resultados tendenciosos.
- Quando nenhuma consideração é feita para as diferenças entre ambientes, pode-se ter indicações enganosas sobre a competência gerencial relativa.
- A DEA padrão não considera o risco existente nas decisões tomadas por experts.

5.10 Algumas aplicações de DEA aos transportes

Oum e Yu (1991) (apud Berechman, 1993), em seu estudo de sistemas ferroviários internacionais de passageiros, utilizaram DEA para medir a eficiência relativa dos sistemas.

Para explorar os efeitos de um conjunto de variáveis políticas (controláveis) e variáveis econômicas e demográficas gerais (não controláveis), os autores efetuaram uma regressão dos índices DEA em relação a essas variáveis, usando o modelo Tobit. Usando os resíduos dessa regressão e removendo os efeitos das variáveis não controláveis, os autores puderam mostrar a eficiência de um sistema quando considerando somente variáveis políticas.

Kerstens (1996) utilizou uma amostra de 114 companhias francesas de transporte urbano por ônibus que operavam fora da região de Paris no ano de 1990, para avaliar a eficiência técnica das mesmas, utilizando técnicas determinísticas não-paramétricas.

Os produtos foram: o número de veículos-quilômetros e número de assentos-quilômetros. Os insumos foram: o número de veículos em uso naquele ano, o número de empregos anuais e o consumo total de combustível para aquele ano. O autor testou alguns modelos DEA para essa amostra, encontrando diferentes resultados, recomendando que a escolha do modelo seja feita com cautela.

No mesmo estudo, Kerstens utilizou um modelo Tobit para explicar os escores de eficiência técnica. As variáveis explicativas revisadas foram: tipo de propriedade (privada, pública ou semi-pública); se a companhia pertencia a alguma associação de gerentes de companhias; tipos de contratos (que diferem, principalmente, no grau de distribuição de risco concordado); comprimento médio de uma linha e distância média entre paradas (como variáveis *proxy* para características espaciais de serviços); velocidade média comercial (como *proxy* para características qualitativas de serviços); densidade populacional (como *proxy* para as características espaciais e qualitativas); idade média dos ônibus; tempo de duração dos contratos e parcela de subsídios em custos de operação totais.

Husain et al. (2000) utilizaram a técnica DEA para medir a eficiência sobre um conjunto de dados coletados no Road Transport Department em Selangor – Malásia. Foram analisadas 46 unidades de serviço para o ano de 1998.

Como insumos foram utilizados o número de trabalhadores e o custo do trabalho; como produtos foram utilizados: a produção total (quantidade) dos serviços e a receita total. Com isso, os autores identificaram aqueles serviços rodoviários mais eficientes e menos eficientes, embora, por falta de informação não tenham conseguido verificar as causas de ineficiência.

Os autores comentam, ainda, que essas informações poderiam ser obtidas investigando a satisfação dos empregados com seu trabalho, o ambiente de trabalho e o impacto da administração de recursos na organização.

Novaes (2001) utilizou a técnica DEA para medir as eficiências técnica e de escala de 22 metrô distribuídos pelo mundo. O produto foi representado pelo número total de passageiros transportados por ano e os insumos foram: uma variável de geração de viagens (que relaciona o número total de carros (sobre trilhos) de passageiros, número total de estações, extensão total de linhas), a frequência na hora de pico, a extensão média da linha, o número total de empregados e a população servida.

O autor aplicou os modelos BCC e CCR orientados para insumo. Os insumos extensão média da linha e a população servida foram mantidos fixos, sendo admitidas, apenas, melhorias que poderiam ser realizadas à curto prazo. Com relação ao metrô de São Paulo, os modelos mostraram elevadas ineficiências técnica e de escala.

Concluiu que isso se deve ao fato desse metrô cobrir somente uma pequena parte da área urbana, com somente três linhas na época, sendo responsável por, apenas, 8,3% das viagens motorizadas. Outra constatação foi que o insumo número de empregos está em excesso, mas isto ocorre porque a empresa responsável é encarregada de várias atividades fora das tarefas convencionais realizadas pelos outros sistemas analisados. Outra aplicação a sistemas metroviários é o trabalho de Chu *et al.* (1992).

Azambuja (2002) mediu a eficiência na gestão do transporte público por ônibus em municípios brasileiros, através de DEA. Os resultados desse estudo permitiram perceber que os municípios que haviam realizados licitações recentes para concessão de serviços de transporte urbano, contemplando as novas leis de concessões e licitações, ou se mostraram eficientes, ou apresentaram níveis de eficiências relativamente elevados.

Além das aplicações citadas, outros trabalhos merecem citação. Forsund e Hemaes utilizaram DEA para analisar a eficiência de *ferry-boats* na Noruega; Cook *et al.* (1994) analisaram o processo de manutenção de rodovias através de DEA; Affuso *et al.* (2002) investigaram a produtividade de ferrovias privatizadas na Grã-Bretanha com esse ferramental; finalmente, Asensio e Trillas (2005) analisaram as ferrovias suburbanas espanholas com essa metodologia.

5.11 Conclusões deste capítulo

Os métodos não paramétricos, por sua vez, determinam uma envoltória de máxima produtividade formada por segmentos lineares e ajustada através de Programação Linear.

Análise Envoltória de Dados – DEA é um dos métodos não-paramétricos clássicos, os seus resultados são geralmente mais detalhados do que os obtidos na abordagem paramétrica, servindo melhor ao embasamento de recomendações de natureza gerencial.

6. PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE EMPRESAS QUE OPERAM NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS

6.1 Introdução

Neste capítulo temos primeiramente a análise dos dados da amostra de empresas que operam no transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil e avaliação dos índices desempenho. Depois, em segundo, temos a descrição da estrutura do modelo DEA e os modelos: com retorno de escala constante e com retorno de escala variável. Por último as análises da produtividade e das eficiências de escala e de gestão.

6.2 Análise dos dados

A indústria de transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil apresenta forte concentração, em que 20% do total de empresas são responsáveis por 84% da produção, medida em passageiros quilômetros. É o que pode ser visto na FIGURA 21.

Confirmam-se, assim, as afirmações de Prado (2006), de que a indústria de transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil se apresenta bastante concentrada, com uma forte centralização de produção num número bastante restrito de empresas.

Para a análise deste estudo partiram-se dos dados disponíveis no site da ANTT, lançados por linha e, a seguir, agrupando-os por empresa. Foram eliminadas, em seguida, as empresas que operam no segmento “semi-urbano”, formado por aquelas que, embora cruzando os limites de dois Estados, oferecem serviços de transporte de passageiros de natureza nitidamente urbana, ou suburbana. A amostra resultante apresentou 184 empresas.

Como a Análise Envoltória de Dados pressupõe um conjunto de dados homogêneos e completos, e levando em conta que algumas firmas não preenchem todos os dados exigidos pela ANTT, foi necessário suprimir adicionalmente as empresas para as quais faltavam informações importantes. Restaram, assim, 141 empresas, formando uma amostra bastante significativa para a análise.

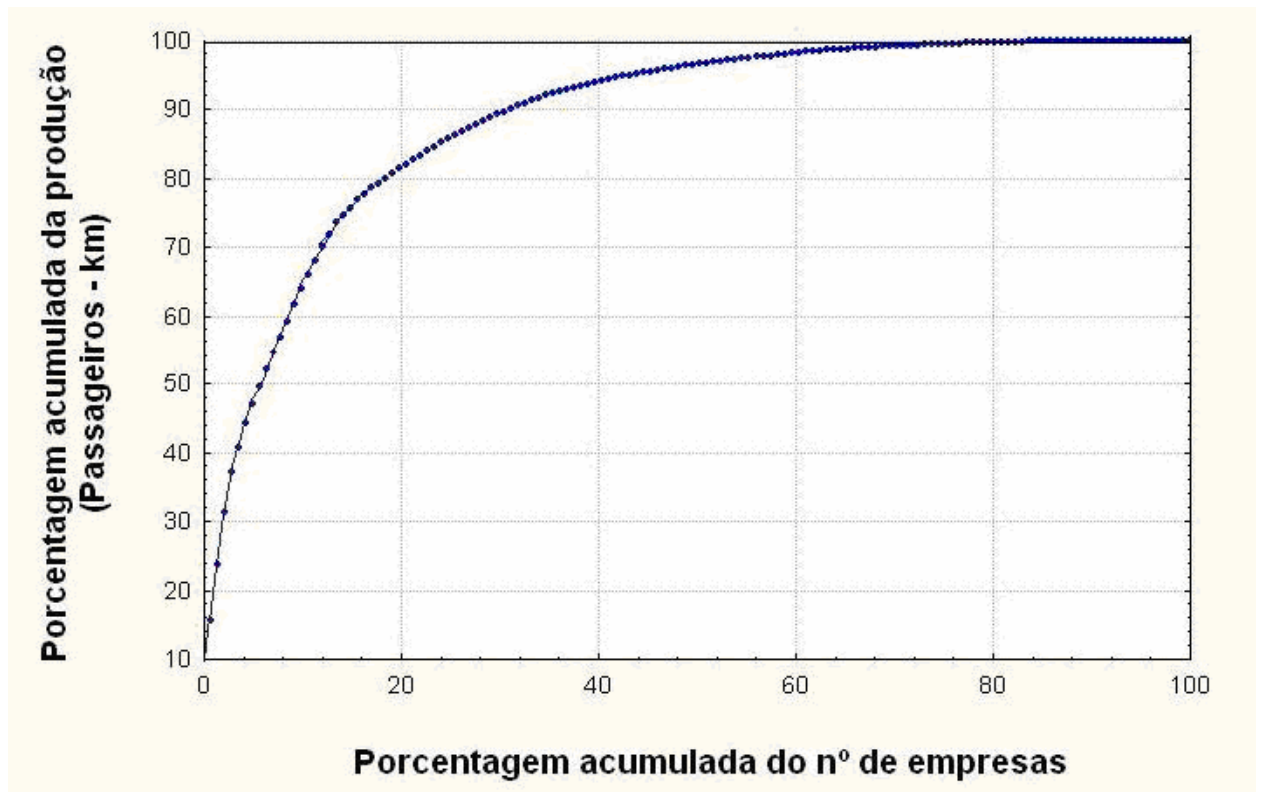


FIGURA 21 – Relação entre produção acumulada e número acumulado de empresas.

A TABELA 4 apresenta a relação das informações relevantes das 20 maiores empresas, das 141 da amostra, dados esses referentes ao ano de 2006 e extraídos do *site* da ANTT. As informações referentes às demais empresas da amostra são apresentadas na TABELA 12, do Apêndice. São os seguintes os dados disponíveis:

- Código da empresa (**COD**): número constante do cadastro da ANTT, conforme seu *site*;
- Total anual de passageiros quilômetros transportados, incluindo todas as linhas da empresa (**PKM**);

- Total anual de passageiros transportados (**PAX**);
- Total de quilômetros percorrido anualmente pela frota da empresa (**KM**);
- Frota (nº de ônibus) alocada pela empresa ao transporte interestadual de passageiros (**FRT**);
- Idade média da frota, em anos (**IDF**);
- Número total de motoristas alocado ao transporte interestadual de passageiros (**MOT**);
- Número de linhas interestaduais operadas pela empresa (**LIN**);
- Número total de viagens realizadas pela empresa no ano (**VIG**);

TABELA 4 – Informações sobre as vinte maiores empresas da amostra.

Nº	COD	Nome da empresa	PKM	PAX	KM	FRT	IDF	MOT	LIN	VIG
			(milhões)		(milhões)					
1	15	VIAÇÃO ITAPEMIRIM S/A	3485,09	3216,44	135,51	1146	10	2384	230	117,96
2	249	EMPRESA GONTIJO DE TRANSPORTES LTDA.	1791,68	2031,53	96,07	961	7	1695	118	74,28
3	127	CIA. SÃO GERALDO DE VIAÇÃO	1708,83	1486,33	82,22	679	8	1610	123	56,05
4	429	EXPRESSO GUANABARA S/A.	1317,17	1954,37	51,50	255	1	776	66	59,16
5	5	VIAÇÃO COMETA S/A	806,44	2529,80	36,21	506	4	759	35	81,33
6	71	VIAÇÃO GARCIA LTDA.	756,62	1635,87	31,65	313	4	205	58	53,31
7	70	TRANSBRASILIANA - TRANSPORTES E TURISMO LTDA.	640,24	1135,62	54,83	295	8	883	106	52,14
8	194	VIAÇÃO ÁGUIA BRANCA S/A	569,12	1738,17	20,41	355	4	393	71	40,76
9	52	PLUMA CONFORTO E TURISMO S/A	561,19	647,80	41,34	236	8	335	60	39,11
10	45	AUTO VIAÇÃO CATARINENSE LTDA.	561,00	2169,01	25,22	321	3	551	60	63,08
11	133	VIAÇÃO MOTTA LTDA.	538,44	1356,76	25,59	174	9	311	34	29,98
12	23	EMPRESA DE ÔNIBUS NOSSA SENHORA DA PENHA S/A	527,96	584,19	25,92	234	8	488	68	23,25
13	60	REUNIDAS S/A - TRANSPORTES COLETIVOS	527,47	1906,21	32,52	247	7	502	79	74,84
14	165	UNESUL DE TRANSPORTES LTDA.	513,32	1851,98	26,48	225	5	402	54	46,20
15	238	EMPRESA DE TRANSPORTES ANDORINHA S/A	487,58	1267,87	23,77	273	5	313	34	27,44
16	370	EUCATUR EMP. UNIÃO CASCAVEL TRANSP. E TUR. LTDA	442,20	550,07	49,73	332	6	425	51	33,16
17	25	UNIÃO TRANSPORTE INTERESTADUAL DE LUXO S/A (ÚTIL)	437,85	1100,13	19,29	113	1	331	44	43,91
18	107	AUTO VIAÇÃO 1001 LTDA	419,86	1056,23	21,48	234	3	259	35	49,58
19	1	VIAÇÃO SALUTARIS E TURISMO S/A.	350,99	390,67	11,57	143	5	308	20	12,50
20	84	VIAÇÃO NOVO HORIZONTE LTDA.	257,26	254,14	16,65	195	4	373	21	13,72

Um ponto importante a observar nas características das empresas é a grande dispersão observada no seu porte, aqui representado pelo total anual de passageiros quilômetros transportados.

De fato, a produção anual média observada por empresa é de 158,8 milhões de passageiros quilômetros em 2006, enquanto o desvio padrão é de 394,5 milhões, ou 2,5 vezes o valor médio.

A empresa com maior produção anual é a Viação Itapemirim, com 3.485 milhões de passageiros quilômetros por ano. Do total da amostra, 115 empresas apresentam produção anual abaixo da média, contra apenas 26 acima. Essa assimetria pode ser melhor observada na FIGURA 22.

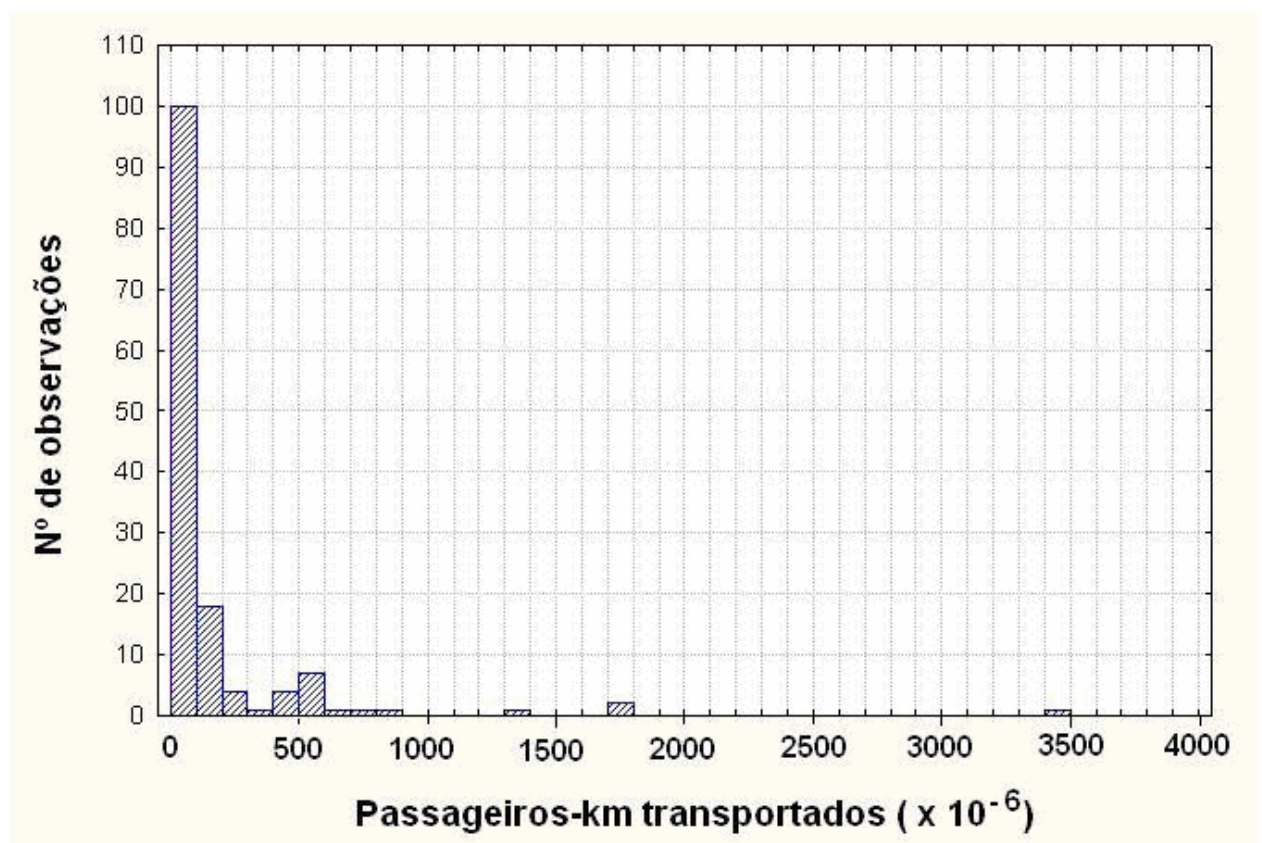


FIGURA 22 – Distribuição das empresas segundo a produção anual.

Outro aspecto importante é a correlação relativamente alta entre a quilometragem anual percorrida pela frota e o número de veículos (ônibus) alocados ao transporte

interestadual de passageiros. Isso pode ser observado na FIGURA 23, notando-se que o ajuste econométrico por regressão simples apresentou $R^2 = 0,924$, bastante satisfatório.

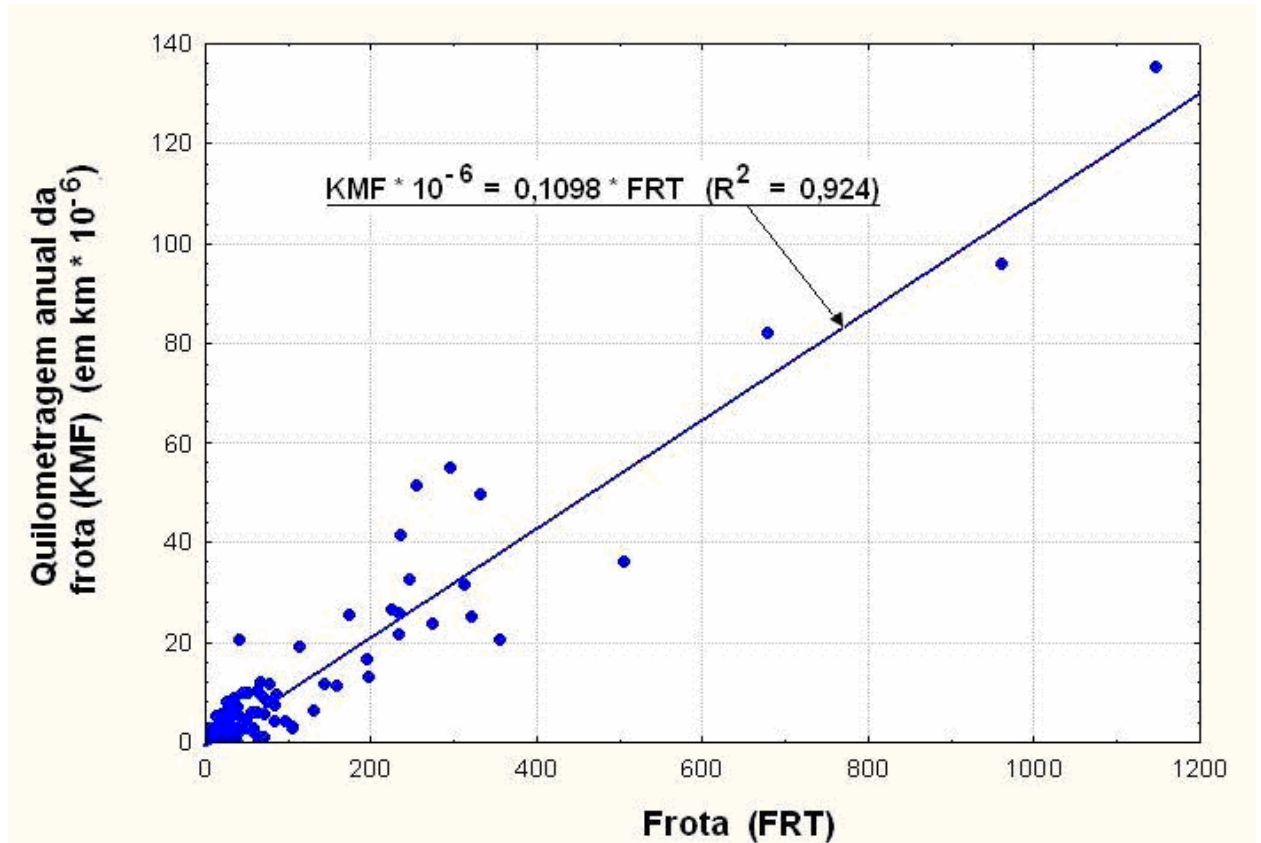


FIGURA 23 – Variação da quilometragem percorrida pela frota com o número de veículos.

A FIGURA 24, por sua vez, mostra a relação entre a extensão média de uma viagem e a frequência média semanal das viagens. Empresas que oferecem viagens relativamente curtas oferecem, em geral, um grande número de frequências semanais. Inversamente, empresas que operam linhas de longa distância oferecem, em geral, poucas frequências semanais.

Esse fato está ligado à demanda, pois viagens de longa distância são expressivamente mais caras, correspondendo também a tempos de viagens de ida e volta bem mais elevados, sendo conseqüentemente menos demandadas.

Observa-se, na FIGURA 24 uma tendência logarítmica decrescente no ajuste econométrico entre essas duas variáveis.

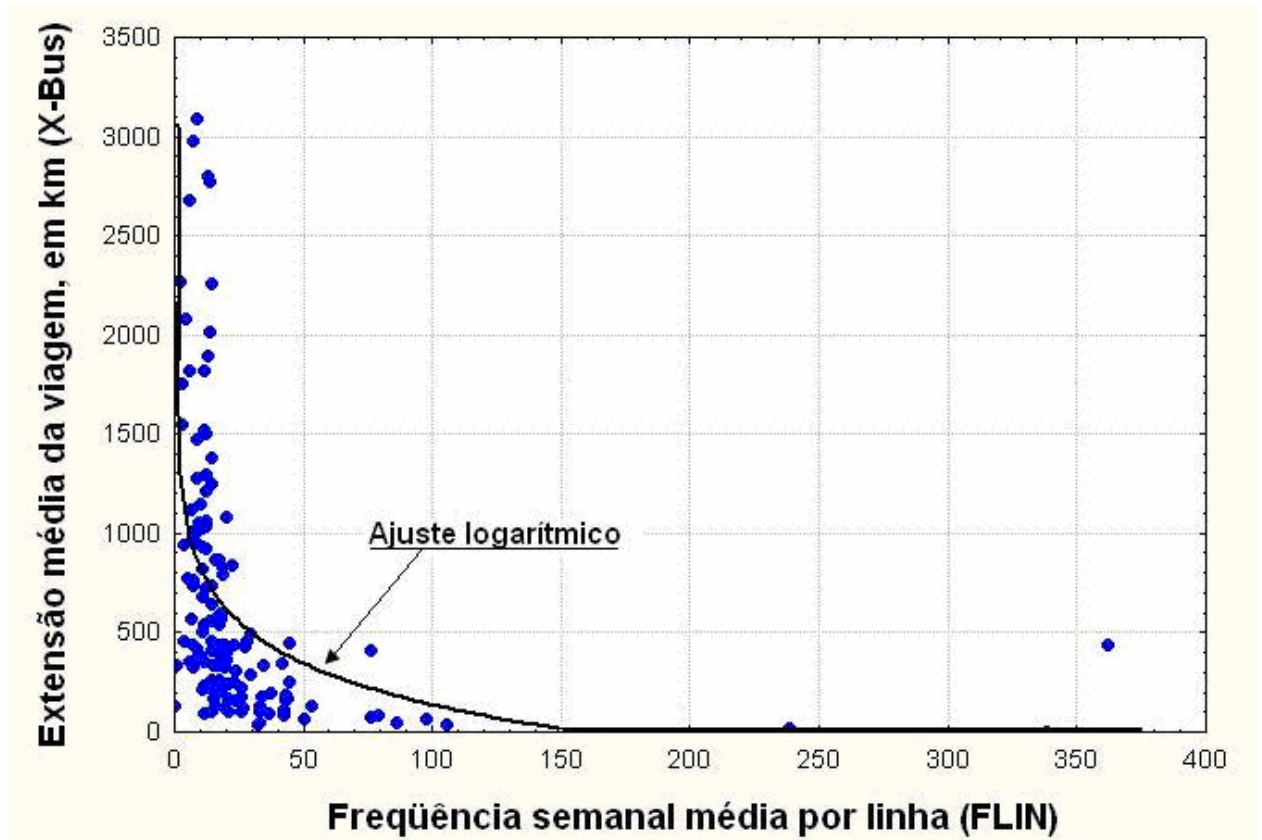


FIGURA 24 – Variação da extensão media de uma viagem com a freqüência média semanal oferecida pela empresa.

A relação entre número de motoristas e a quilometragem anual da frota é apresentada na FIGURA 25 e mostra uma correlação estatística bastante razoável, com $R^2 = 0,950$.

De fato, essa estreita correlação era de se esperar em empresas bem administradas, pois a utilização da força de trabalho desse tipo corre em paralelo com o percurso físico.

Em empresas mal administradas, o baixo controle das horas de folga, as paradas excessivas, junto com outros fatores, pode prejudicar bastante o desempenho da firma, lembrando inclusive os elevados custos indiretos relacionados à mão-de-obra.

A equação estatística ajustada foi a seguinte:

$$MOT = 16,427 \times KM \times 10^{-6} \quad (\text{com } R^2 = 0,950) \quad (53)$$

Através da equação (53) se tira que cada motorista percorre, em média, 60.875 km por ano, ou cerca de 5.534 km por mês (ano de 11 meses, descontando-se as férias).

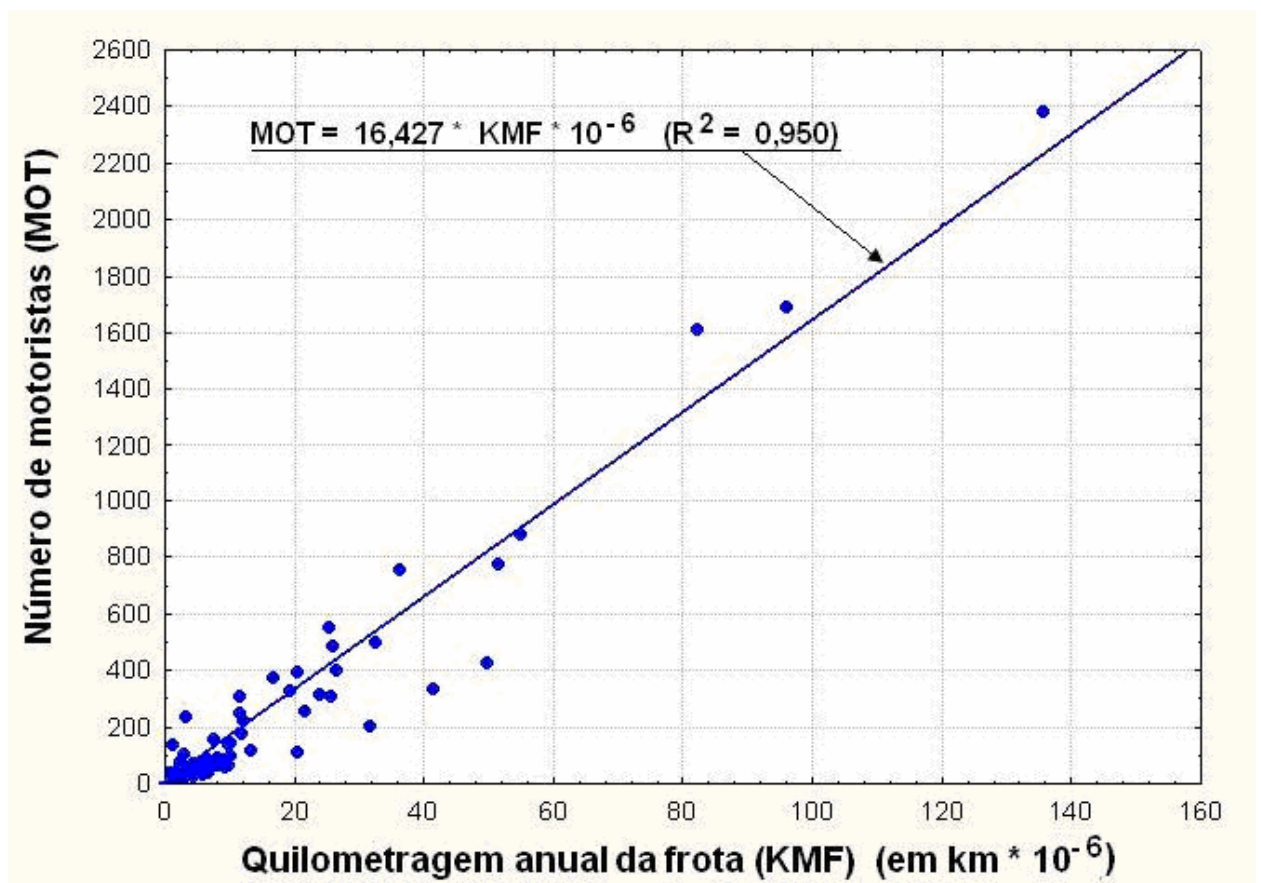


FIGURA 25 – Variação do número de motoristas e a quilometragem anual percorrida pela frota.

No que se refere à idade média da frota, muito embora a ANTT estipule um limite máximo de 6 anos, na prática se observa uma dispersão muito grande, com frotas apresentando idades média de até 18 anos.

É o que mostra a distribuição de freqüências da FIGURA 26. A idade média da amostra é de 7,0 anos, com desvio padrão igual à 3,5 anos.

No entanto, a distribuição é assimétrica, sendo que uma distribuição Gama foi a que melhor se ajustou aos dados.

Como se pode ver na FIGURA 26, a moda da distribuição é igual a 5 anos, um valor razoável. Mas, o efeito da idade no desempenho da frota não é desprezível, como será visto na próxima seção desta dissertação.

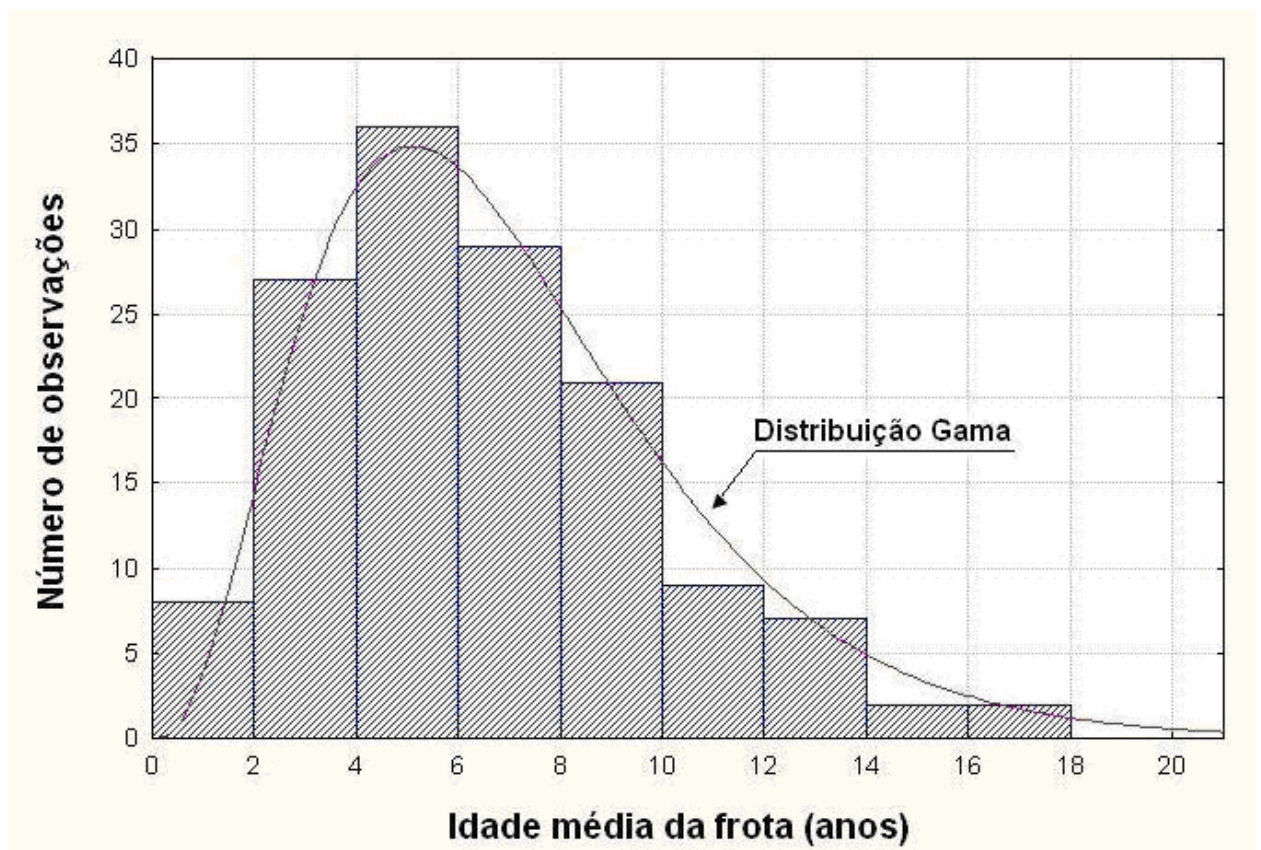


FIGURA 26 – Distribuição da idade da frota.

6.3 Índices de Avaliação de Desempenho

Algumas variáveis definidas a partir das variáveis básicas, indicadas na TABELA 4, são importantes para a avaliação do desempenho de empresas de ônibus. Tais variáveis são definidas e justificadas a seguir.

6.3.1 PMA – Percurso Médio Anual

O percurso médio anual (PMA) representa o total de quilômetros percorrido, em média, por um ônibus da frota durante o ano. É um parâmetro importante, pois mede a utilização efetiva da frota.

Na prática, o tempo de utilização dos ônibus sofre a redução das paradas para manutenção, para embarque e desembarque de passageiros, esperas nos terminais e nas garagens, congestionamentos nas estradas, etc.

O PMA é calculado pela divisão entre a quilometragem total percorrida anualmente pela frota, pelo número total de ônibus. O PMA médio apresentado pelas 141 empresas da amostra é igual a 117.042 km por ano, com o desvio padrão igual a 133.989 km por ano. A distribuição estatística do PMA é apresentada na FIGURA 27, notando-se que é regida por uma distribuição Gama.

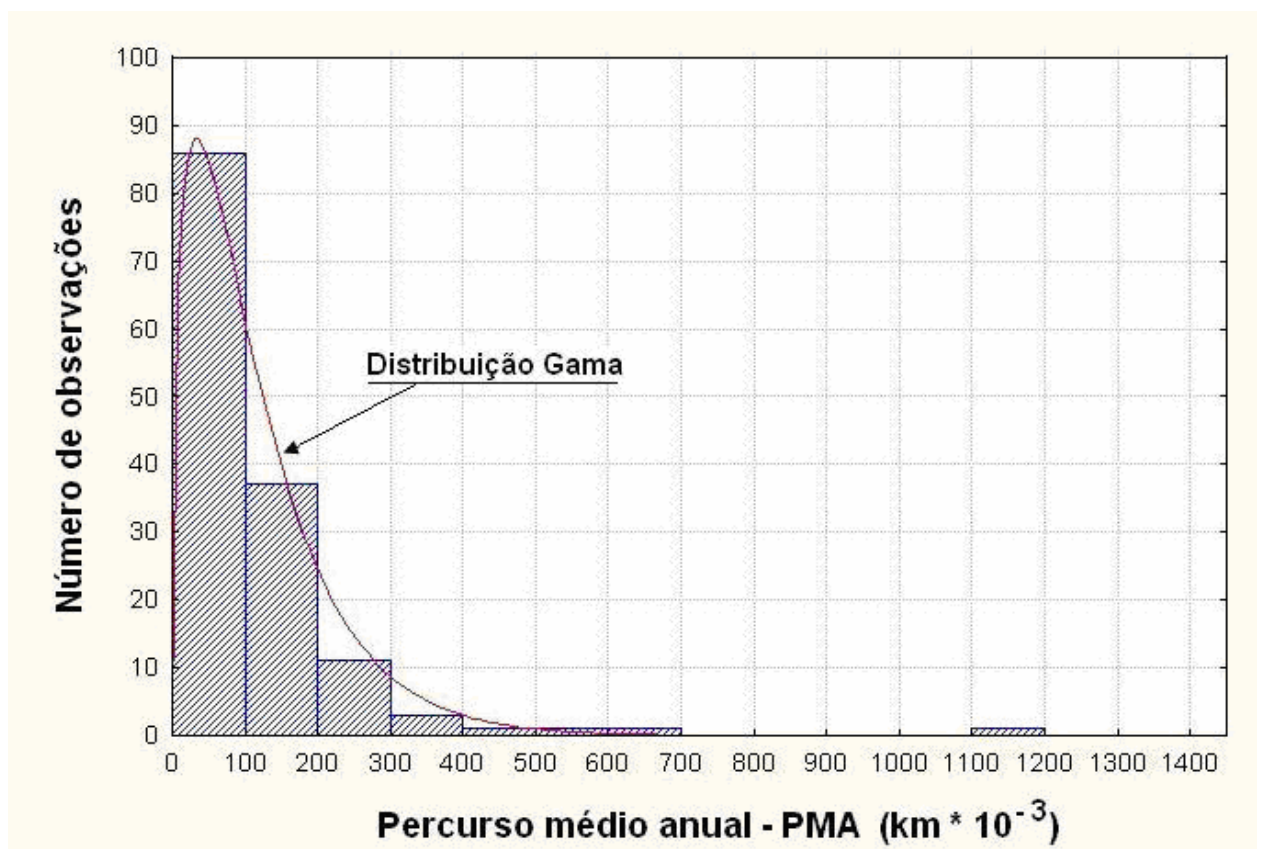


FIGURA 27 – Distribuição estatística do PMA.

O primeiro ponto a investigar, com relação ao PMA, é a possível influência da idade média da frota no percurso médio anual, PMA. É o que mostra a FIGURA 28.

O ajuste estatístico, feito através do pacote *Statística 7*, mostra a tendência decrescente do PMA com a idade: enquanto o PMA esperado para um ônibus novo (idade = 0) é de aproximadamente 175.000 km por ano, a expectativa para um veículo de 18 anos cai para 40.000 km por ano.

Assim, a idade média da frota de cada empresa passa a ser um parâmetro importante na análise de desempenho do setor.

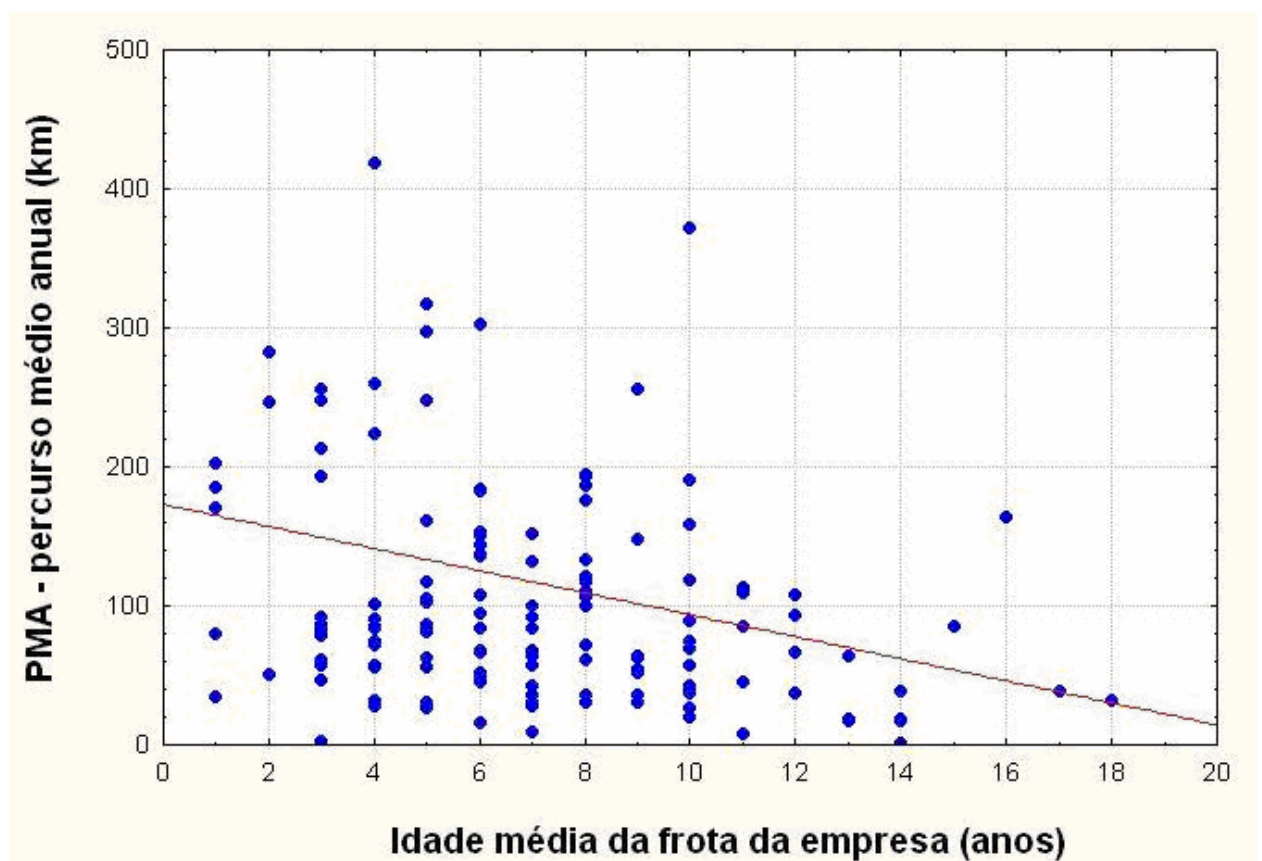


FIGURA 28 – Variação do PMA em função da idade da frota.

Outro aspecto a analisar é a relação entre o PMA e a extensão média de uma viagem (FIGURA 29). Ainda que a dispersão resultante seja muito grande, a tendência estatística indica um aumento esperado apreciável do PMA com a extensão média das viagens. Para viagens com extensão média de 200 km, o gráfico indica um PMA

esperado de 90.000 km por ano. Já para viagens com extensão média de 3.000 km, o PMA esperado é de 250.000 km por ano, ou 2,8 vezes o primeiro. Muito embora a grande dispersão de dados sugira cautela, ainda assim é de notar a tendência significativa.

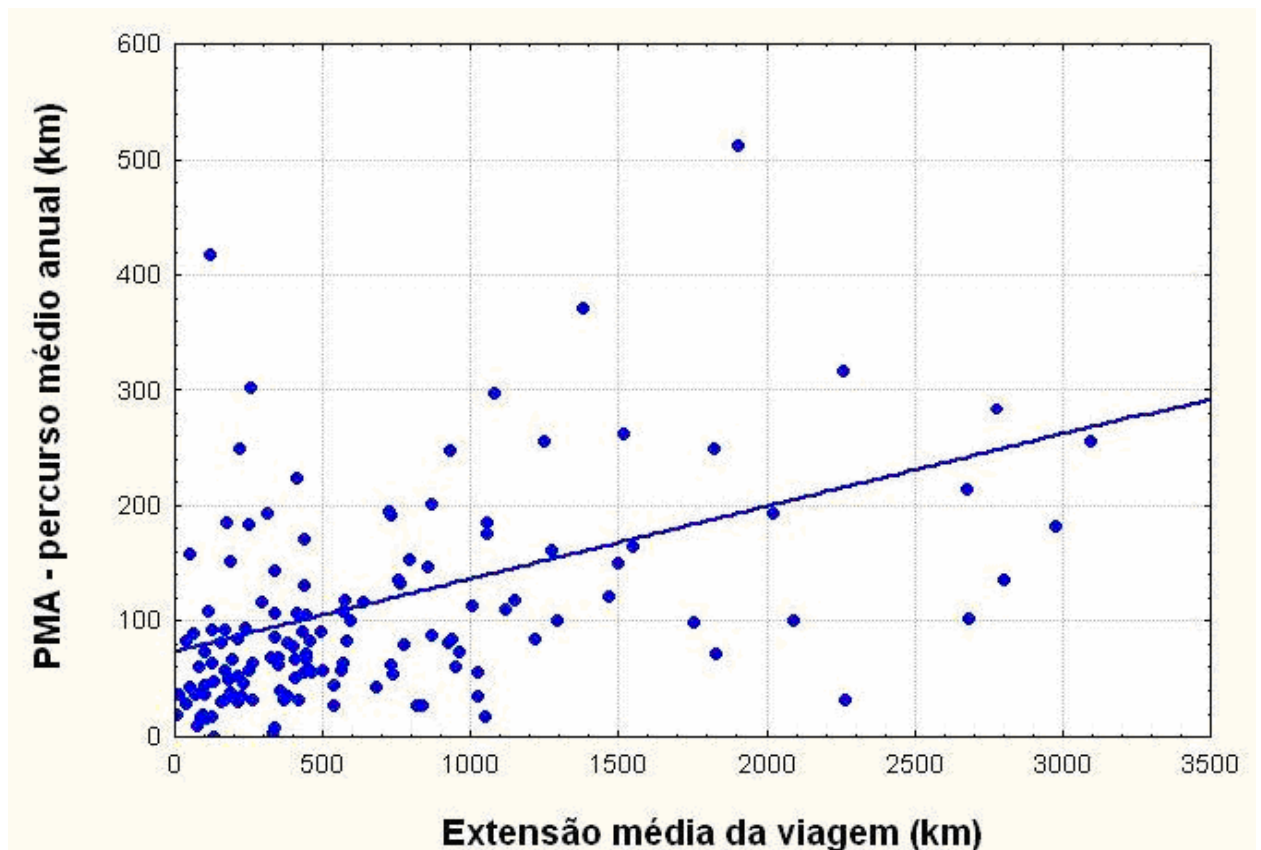


FIGURA 29 – Variação do PMA em função da extensão média das viagens.

6.3.2 IAP – Índice de Aproveitamento

Levando em conta que a lotação padrão de um ônibus adotada pela ANTT é de 46 assentos, um índice de aproveitamento importante a ser considerado na análise de desempenho é dado pela seguinte relação:

$$IAP = \frac{PKM}{46 \times KM} \quad (54)$$

ou seja, o numerador representa a produção efetiva em passageiros quilômetros transportados, enquanto o denominador expressa a situação hipotética em que houvesse lotação completa em toda a extensão percorrida pela frota.

O índice *IAP* deve obedecer à seguinte relação:

$$0 \leq IAP \leq 1 \quad (55)$$

e representa o percurso médio do passageiro em relação à extensão da viagem, expresso em porcentagem. Isso ocorre porque uma parte dos passageiros sobem e/ou descem do veículo em pontos não coincidentes com o início ou fim da viagem.

6.4 Estrutura do modelo DEA para o caso em análise

6.4.1 Software utilizado

No presente trabalho foi utilizado o software EMS Efficiency Measurement System, de autoria de Holger Scheel, do Departamento de Pesquisa Operacional da Universidade de Dortmund, Alemanha. Esse software utiliza o LP Solver DLL BPMPD 2.11 e tem sido bastante utilizado em aplicações de DEA no exterior e no Brasil, como, por exemplo, Novaes (1997, 2001). O *software* está disponível para a comunidade acadêmica no site <<http://www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems/>>.

O software EMS é de uso bastante amigável, possibilitando utilizar arquivos em Excel, tanto para entrada como para saída de dados, o que facilita sobremaneira a análise. Deve-se lembrar que a metodologia DEA implica na aplicação *n* vezes de um programa de Programação Linear, onde *n* representa o número de DMUs. A questão prática principal é carregar o programa de *PL* com os dados e, após a aplicação do modelo DEA para cada DMU, extrair os resultados e consolidá-los para análise. Na nossa aplicação, tem-se cerca de 140 DMUs, o que tornaria o processo extremamente trabalhoso. O EMS facilita sobremaneira essas tarefas, ao contrário de pacotes anteriormente utilizados.

Segundo o autor Holger Scheel, o software EMS pode tratar problemas de DEA com mais de 5.000 DMUs e cerca de 40 inputs e outputs, embora o código de programação não tenha sido otimizado para dados em larga escala. Essa dimensão é mais do que suficiente para resolver o problema tratado neste trabalho, com cerca de 140 DMUs e 9 variáveis (inputs e outputs).

6.4.2 Inputs e outputs

Um dos aspectos importantes da Análise Envoltória de Dados é a seleção criteriosa dos inputs e outputs. No ajuste econométrico de funções de produção a análise da correlação estatística entre as variáveis e da multicolinearidade dá indicações de como descartar algumas variáveis logo ao início do trabalho. Já com DEA tal não ocorre, embora haja formas de eliminar inputs e outputs ao longo da aplicação da metodologia.

Por exemplo, uma forma de eliminação é a identificação de DMUs *outliers* que, por estarem muito isoladas das demais, se configuram por razões comparativas como eficientes, quando na realidade não são.

Outra forma de eliminação é a verificação dos pesos resultantes. Quando um input (ou output) assume peso zero por todas, ou quase todas DMUs, é sinal de que a variável é dominada por outra, podendo ser assim retirada. Esses dois casos ocorreram na presente aplicação e serão discutidos oportunamente.

Em termos econômicos, a produção de um determinado setor (ou indústria, no jargão micro-econômico) é determinada basicamente por três fatores básicos: capital, energia e mão-de-obra.

No presente caso, o capital poderia ser representado pela variável *proxy* FRT (frota), mas tal representação é inadequada visto que há uma gama bastante variável de veículos de passageiros, em termos de conforto, espaço, tecnologia, etc., com níveis de investimento bastante diversos. A mão-de-obra seria representada pela variável *proxy* MOT (motoristas) que, por sua vez, também é inadequada, visto que ficam

faltando os empregados de outros setores da empresa (bilhetagem, manutenção, administração, etc).

Nesse tipo de indústria, as economias de escopo (*economies of scope*) são expressivas. Por exemplo, muitas empresas que operam linhas de ônibus interestaduais operam também linhas intra-estaduais, assim se beneficiando de economias de escopo, já que dividem atividades indiretas entre os dois tipos de serviços, tais como bilhetagem, manutenção, administração, etc.

Finalmente, energia poderia ser representada pela variável *proxy* KM (quilometragem anual da frota), visto que o consumo de combustível está diretamente relacionado com a distância percorrida. De novo, haveria um forte viés nessa representação, pois não se estaria considerando os impactos da evolução tecnológica.

Por exemplo, a análise da eventual troca do consumo energético por capital, através da utilização de veículos mais modernos, que consomem combustíveis alternativos mais eficientes e mais baratos, para isso exigindo maior aporte de recursos, não poderia ser evidenciada através dos dados.

Conclui-se, assim, que os dados disponíveis não possibilitam uma análise econômica consistente, do tipo clássico e com modelo paramétrico. O objeto de nossa análise, no entanto, não é econômica, mas operacional, visando identificar mais detalhadamente os fatores que condicionam o desempenho das empresas desse setor. E, para tal, os dados disponíveis se mostraram adequados.

Inicialmente foram adotadas as variáveis input do modelo DEA, indicadas na TABELA 5. Na metodologia DEA os pesos alocados às diversas variáveis, sejam elas inputs ou outputs, devem ser não negativas. Dessa forma, como a idade da frota atua de forma negativa no processo de produção, não podemos considerá-la na sua forma original.

Assim, substituímos esse input pelo seu inverso. Quando a idade média era zero, adotamos um valor razoavelmente grande para IID, de forma a evitar erro de divisão por zero no computador.

TABELA 5 – Inputs adotados no modelo DEA.

Input	Descrição
KM	Total de quilômetros percorrido anualmente pela frota da empresa
FRT	Frota (nº de ônibus) alocada pela empresa ao transporte interestadual de passageiros
MOT	Número total de motoristas da empresa alocado ao transporte interestadual de passageiros
LIN	Número de linhas interestaduais operadas pela empresa
VIG	Número total de viagens realizadas pela empresa no ano
IID	Inverso da idade média da frota = $\frac{1}{IDF}$
PMA	Percurso médio anual (km)
IAP	Índice de aproveitamento

É importante analisar também se os inputs são suscetíveis de variação pelos tomadores de decisão da empresa (*discretionary variables* no jargão DEA) e quais os inputs devem ser considerados fixos (*non-discretionary*). Mas, apesar de a ANTT controlar de perto a concessão de linhas, são as empresas operadoras que têm a iniciativa de propor novas linhas. E desde que atendam as condições básicas impostas pela ANTT, quase sempre conseguem aprovação. Assim, a médio e longo prazo, todas as variáveis podem ser admitidas como discricionárias.

O único output adotado na análise, por sua vez, foi o total de passageiros-quilômetros (PKM) produzido pela empresa. Isso porque a definição de tarifas e as demais análises por parte da ANTT são realizadas com base nesse parâmetro. Na realidade, diversas empresas também transportam encomendas nos seus ônibus, mas essa atividade sofre severa oposição das empresas transportadoras de carga.

Além disso, não se dispõe de dados confiáveis sobre o assunto. Há também diferenciação de serviços no transporte rodoviário interestadual de passageiros. Por exemplo, no que diz respeito ao conforto interno, há o serviço convencional, o executivo e o leito, entre outros. No que se refere ao tempo de viagem, há as linhas diretas, em que o ônibus só pára no início e no fim da viagem, e as que fazem paradas

em algumas cidades intermediárias. Os dados disponíveis não estão desagregados segundo esses serviços, impossibilitando, assim, medir seus impactos na produtividade das empresas.

6.4.3 Características gerais do modelo

Antes da aplicação do modelo DEA é necessário definir certas características básicas do mesmo. A primeira refere-se à forma com que os decisores das diversas DMUs procuram otimizar a produtividade de suas empresas. Uma delas é a de orientar a otimização no sentido de maximizar o *output*.

Essa situação ocorre usualmente quando os executivos podem atuar com bastante liberdade na obtenção de maior nível de demanda e nos resultados econômico-financeiros dele decorrente. É o caso, por exemplo, de setores cujo desempenho estão fortemente relacionados com ações de marketing, propaganda, tarifas não controladas pelo governo, liberdade de atuação em mercados diversos, etc. Não é o caso das empresas de transporte rodoviário interestadual de passageiros, em que as tarifas e os serviços são estabelecidos e controlados estreitamente pela ANTT.

É verdade que as empresas operadoras podem adotar políticas de melhoria do nível de serviço oferecidos aos usuários, tais como alocação de veículos mais confortáveis, mais modernos em termos tecnológicos, melhor nível de atendimento aos passageiros, etc., mas o resultado de tais medidas não é suficiente para caracterizar as condições de otimização do *output*.

A condição que mais se aproxima do ambiente empresarial em estudo é então a de minimização de *inputs*. Ou seja, para competir no mercado e aumentar sua eficiência, a empresa procura racionalizar o uso de seus fatores de produção. Por exemplo, procura aumentar o PMA de seus ônibus, busca melhores níveis para o IAP, tenta melhorar o aproveitamento da mão-de-obra, etc., ao mesmo tempo mantendo os níveis de produção permitidos pelo mercado.

Dessa forma, o modelo DEA utilizado adota a orientação para minimização de *input*. Essa situação é a mais freqüente nos sistemas de transportes de passageiros (serviço público), exceto, talvez, o transporte aéreo de passageiros.

Portanto, adotou-se a estrutura convexa convencional, típica desse tipo de problema (função de produção) e distância radial para deslocamento das DMUs não eficientes na direção da envoltória convexa (vide Capítulo 5).

Devido ao exposto no Capítulo 5, os pesos de alguns dos fatores de produção foram submetidos a restrições de forma a evitar resultados não realistas. A definição desses pesos é discutida na próxima seção.

Finalmente, não foi aplicada a condição de super-eficiência aos dados, por que a extrapolação das DMUs eficientes à situação limite, conforme o conceito dessa propriedade, pode resultar em situações não realistas, levando a uma comparação enviesada dos resultados.

6.4.4 Restrições de pesos dos fatores de produção

Conforme visto no Capítulo 5, uma limitação da metodologia DEA é a inerente possibilidade de o modelo adotar valores não realistas para os pesos alocados aos fatores de produção.

Por exemplo, no caso em estudo não faz sentido o modelo alocar peso zero aos veículos da frota (*FRT*), porque, sem os ônibus, a empresa não teria condição de transportar ninguém. O mesmo ocorre para motoristas, viagens, etc. Já o mesmo não se observa com a variável idade da frota, pois um peso zero significaria que tal variável não tem efeito sensível no processo de produção.

A limitação de pesos é um procedimento comum nas aplicações de DEA, conforme pode ser constatado no grande número de trabalhos científicos publicados sobre o assunto (vide Capítulo 5).

Passamos a analisar, a seguir, as restrições de pesos associadas a presente aplicação. Em todas as restrições de pesos apresentadas a seguir foi utilizado o método *cone-ratio* (Cooper *et al.*, 2000), conforme discutido no Capítulo 5.

a) Relação entre motoristas e frota:

Na FIGURA 30 é mostrada a variação do número de motoristas em relação à frota de veículos.

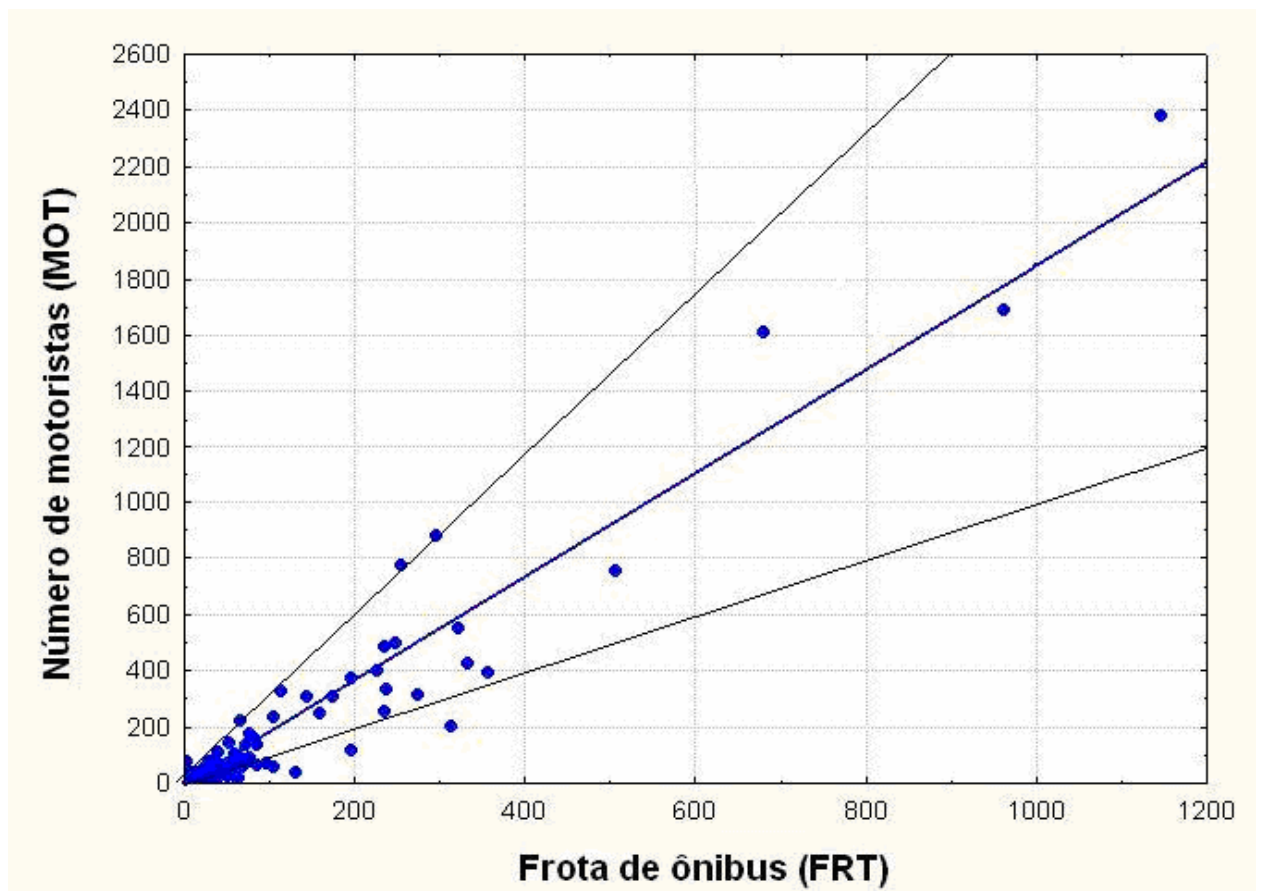


FIGURA 30 – Relação entre n° de motorista e n° de ônibus na frota.

Observa-se que as duas variáveis estão aproximadamente restritas ao seguinte intervalo de variação:

$$MOT \leq 2.89 FRT \quad (56)$$

Essa relação se justifica tendo em vista que a relação típica observada no transporte urbano de passageiros é $MOT \leq 2.5 FRT$. Para transporte em maiores distâncias, como o interestadual, com folgas de motoristas gozadas fora da sede, com maiores exigências de higiene de trabalho, etc., uma margem maior se justifica.

Em termos do software EMS, a restrição (56) é a seguinte:

$$2,89 FRT - MOT \geq 0 \quad (\text{restrição R1}) \quad (57)$$

b) Relação entre o nº de linhas (LIN) e a quilometragem (KM):

Na FIGURA 31 é mostrada a variação do número de linhas (LIN) em relação à quilometragem anual percorrida pela frota da empresa (KM).

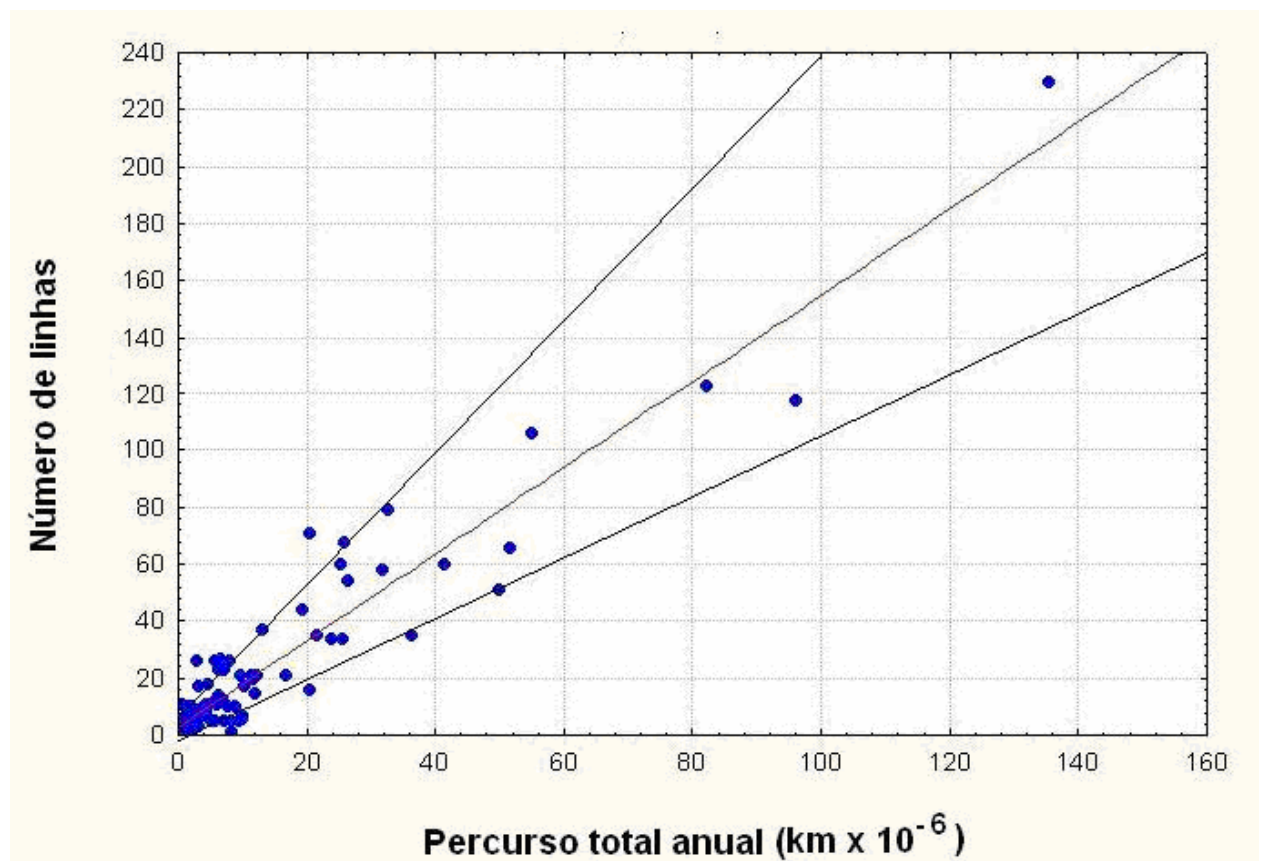


FIGURA 31 – Relação entre nº de linhas e quilometragem da frota.

Observa-se que as duas variáveis estão aproximadamente restritas ao seguinte intervalo de variação:

$$LIN \geq 2,4 KM \quad (58)$$

Em termos do software EMS, a restrição (58) é a seguinte:

$$2,4 KM - LIN \geq 0 \quad (\text{restrição R2}) \quad (59)$$

c) Relação entre o número de veículos da frota (FRT) e a produção (PKM):

Essa relação é mostrada na FIGURA 32, levando ao seguinte intervalo de variação:

$$0,148 FRT \leq PKM \quad (60)$$

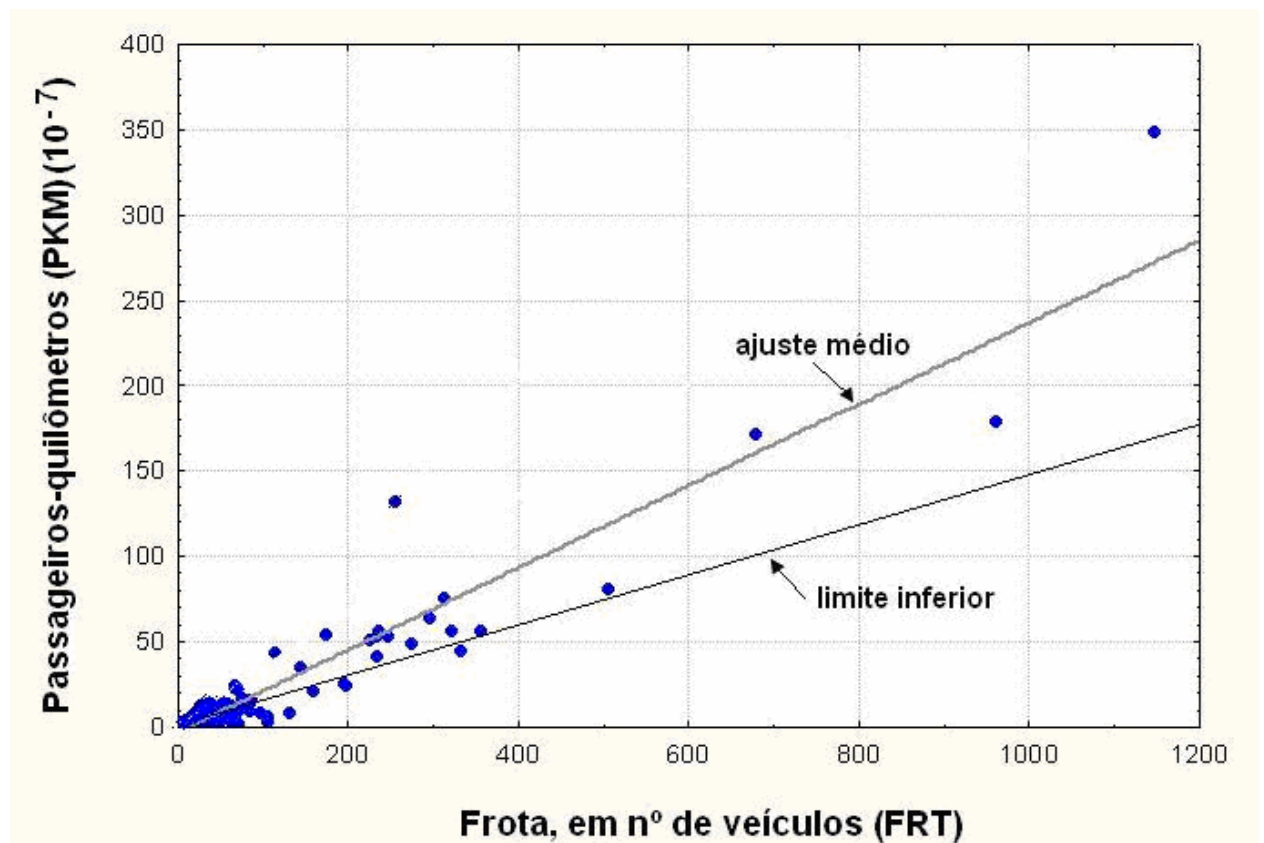


FIGURA 32 – Relação entre a produção (PKM) e a frota (FRT).

onde PKM é expresso em passageiros-quilômetros vezes 10^{-7} . A expressão (60) é transformada na seguinte restrição no formato EMS:

$$-0,148 FRT + PKM \geq 0 \quad (\text{restrição R3}) \quad (61)$$

d) Relação entre o número de linhas (LIN) e a produção (PKM):

Conforme FIGURA 33, tem-se o seguinte intervalo de variação:

$$PKM \leq 1,905 LIN \quad (62)$$

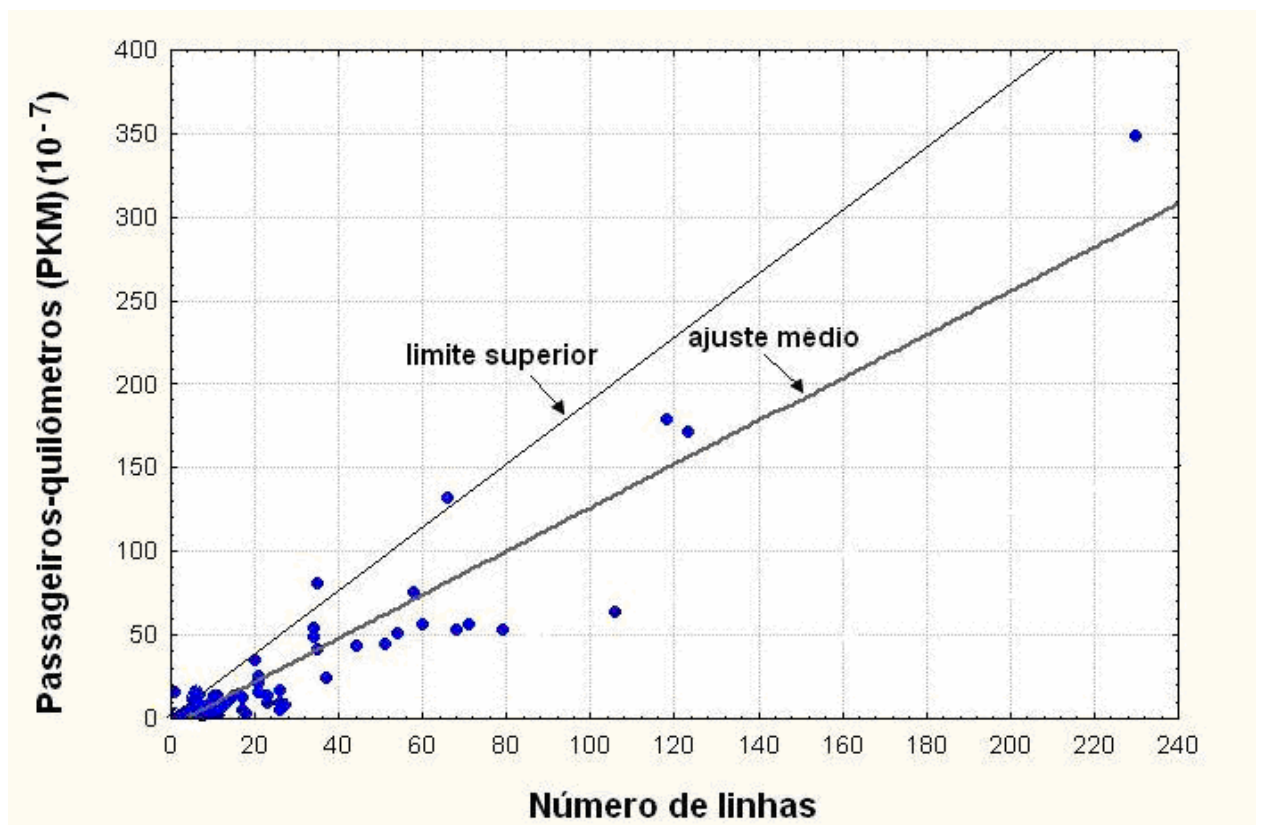


FIGURA 32 – Relação entre a produção (PKM) e o número de linhas.

onde PKM é expresso em passageiros-quilômetros vezes 10^{-7} . A expressão (62) é transformada na seguinte restrição no formato EMS:

$$1,905 LIN - PKM \geq 0 \quad (\text{restrição R4}) \quad (63)$$

e) Relação entre o número de viagens (VIG) e a produção (PKM):

Conforme FIGURA 34, tem-se o seguinte intervalo de variação:

$$0,536 \text{ VIG} \leq PKM \leq 3,03 \text{ VIG} \quad (64)$$

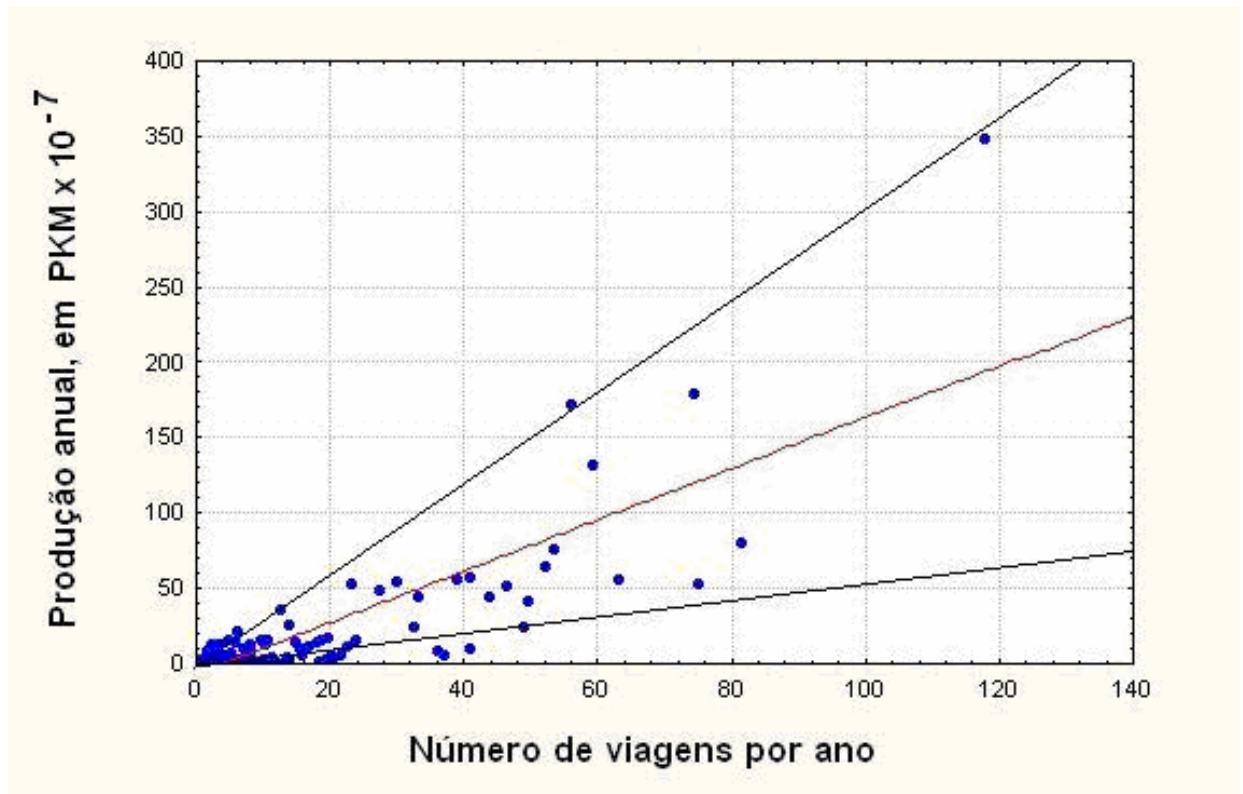


FIGURA 33 – Relação entre a produção (PKM) e o número de viagens (VIG).

onde PKM é expresso em passageiros-quilômetros vezes 10^{-7} . A expressão (64) é transformada nas seguintes restrições no formato EMS:

$$3,03 \text{ VIG} - PKM \geq 0 \quad (\text{restrição R5}) \quad (65)$$

$$-0,536 \text{ VIG} - PKM \geq 0 \quad (\text{restrição R6}) \quad (66)$$

Todas as seis restrições foram introduzidas no modelo DEA seguindo o formato do software EMS.

6.5 Modelo DEA com retorno de escala constante

Conforme visto no Capítulo 5, o modelo DEA com retorno de escala constante é denominado CCR. A FIGURA 34 mostra a estrutura de entrada de dados no formato EMS.

	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	DMU	FRT {I}	MOT {I}	LIN {I}	VIAG {I}	IID {I}	KM {I}	IAP {I}	PKM {O}
2	15	1146	238,4	230,00	117,96	100	135,5108	55,91	348,51
3	249	961	169,5	118,00	74,28	143	96,0684	40,54	179,17
4	127	679	161	123,00	56,05	125	82,22134	45,18	170,88
5	429	255	77,6	66,00	59,16	1000	51,5006	55,60	131,72
6	5	506	75,9	35,00	81,33	250	36,211	48,41	80,64
7	71	313	20,5	58,00	53,31	250	31,64806	51,97	75,66
8	70	295	88,3	106,00	52,14	125	54,83214	25,38	64,02
9	194	355	39,3	71,00	40,76	250	20,41355	60,61	56,91
10	52	236	33,5	60,00	39,11	125	41,33877	29,51	56,12
11	45	321	55,1	60,00	63,08	333	25,21678	48,36	56,10
12	133	174	31,1	34,00	29,98	111	25,58743	45,75	53,84
13	23	234	48,8	68,00	23,25	125	25,91512	44,29	52,80
14	60	247	50,2	79,00	74,84	143	32,51763	35,26	52,75
15	165	225	40,2	54,00	46,20	200	26,47508	42,15	51,33
16	238	273	31,3	34,00	27,44	200	23,77398	44,58	48,76
17	370	332	42,5	51,00	33,16	167	49,73263	19,33	44,22
18	25	113	33,1	44,00	43,91	1000	19,28783	49,35	43,78
19	107	234	25,9	35,00	49,58	333	21,47713	42,50	41,99
20	1	143	30,8	20,00	12,50	200	11,57174	65,94	35,10

FIGURA 34 – Tabela Excel de entrada de dados para o software DEA-EMS.

Na primeira coluna é apresentada a codificação de cada DMU. Nas colunas seguintes são colocados os valores dos inputs e, a seguir, o(s) output(s). O input é identificado através do símbolo {I} após sua abreviação. O output é identificado através do símbolo {O}. É importante notar que algumas das variáveis da FIGURA 34 foram multiplicadas ou divididas por uma constante, de forma a reduzir erros numéricos na inversão de matrizes. Isso não altera os resultados do modelo DEA.

Na lista de DMUs da amostra havia 5 empresas com produção anual inferior a 300.000 passageiros-quilômetros por ano, praticamente insignificante para esse setor. Tais empresas, consideradas *outliers*, foram retiradas da amostra, pois sua presença pode enviesar os resultados. Na amostra ficaram apenas empresas com produção igual ou maior a 1 milhão de passageiros-quilômetros, num total de 136 DMUs.

As restrições de peso são preparadas numa pasta especial, conforme mostra a FIGURA 35. Na primeira linha é repetido o conteúdo da linha correspondente da pasta anterior de dados. A seguir são colocadas as restrições uma a uma, no formato EMS anteriormente descrito.

A	B	C	D	E	F	G	H	J
DMU	FRT {I}	MOT {I}	LIN {I}	VIG {I}	IID {I}	KM {I}	IAP {I}	PKM {O}
R1	2,89	-1						
R2			-1			2,4		
R3	-0,148							1
R4			1,905					-1
R5				3,03				-1
R6				-0,536				1

FIGURA 35 – Tabela Excel de entrada das restrições de peso para o software DEA-EMS.

Após alimentar o software EMS com os dados e com as restrições de peso, aplica-se o modelo CCR. Para tal, adotaram-se as seguintes especificações no quadro de abertura do software:

- Estrutura: convexa;
- Restrição de pesos: sim;
- Super-eficiência: não;
- Ganhos de escala: constante;
- Distância: radial;
- Orientação: input.

Na primeira aplicação do modelo CCR a variável *PMA* apresentou pesos resultantes nulos para todas as DMUs. Uma análise dos dados mostrou que, de fato, essa variável é definida, a partir de duas outras, através da expressão:

$$PMA = \frac{KM}{FRT} \quad (67)$$

sendo por isso redundante. Em consequência, a variável *PMA* foi retirada do modelo. Não obstante, essa variável será utilizada na análise dos resultados, nas comparações entre as diversas DMUs.

A aplicação do modelo com retorno de escala constante (CCR) indicou somente uma DMU eficiente, a empresa de código 15, Viação Itapemirim, com produção praticamente o dobro da segunda DMU (empresa Gontijo) e 212 vezes a produção média das empresas da amostra.

O modelo CCR fornece a eficiência total ε_{tot} , que é igual ao produto da eficiência técnica pela eficiência de escala. Como se pode observar na FIGURA 36, que mostra a variação da eficiência total em função da produção anual (*PKM*), há uma nítida influência do tamanho da empresa na eficiência. Notam-se claramente patamares de eficiência, indicados na TABELA 6.

TABELA 6 – Eficiência total em função do porte da empresa.

Faixa de Produção	Eficiência Total
$0 < PKM \leq 50 \times 10^{-7}$	$0 \leq \varepsilon_{tot} \leq 0,45$
$50 \times 10^{-7} < PKM \leq 100 \times 10^{-7}$	$0,37 \leq \varepsilon_{tot} \leq 0,70$
$100 \times 10^{-7} < PKM \leq 200 \times 10^{-7}$	$0,83 \leq \varepsilon_{tot} \leq 0,90$
Empresa isolada em torno de $PKM = 350 \times 10^{-7}$	1,00

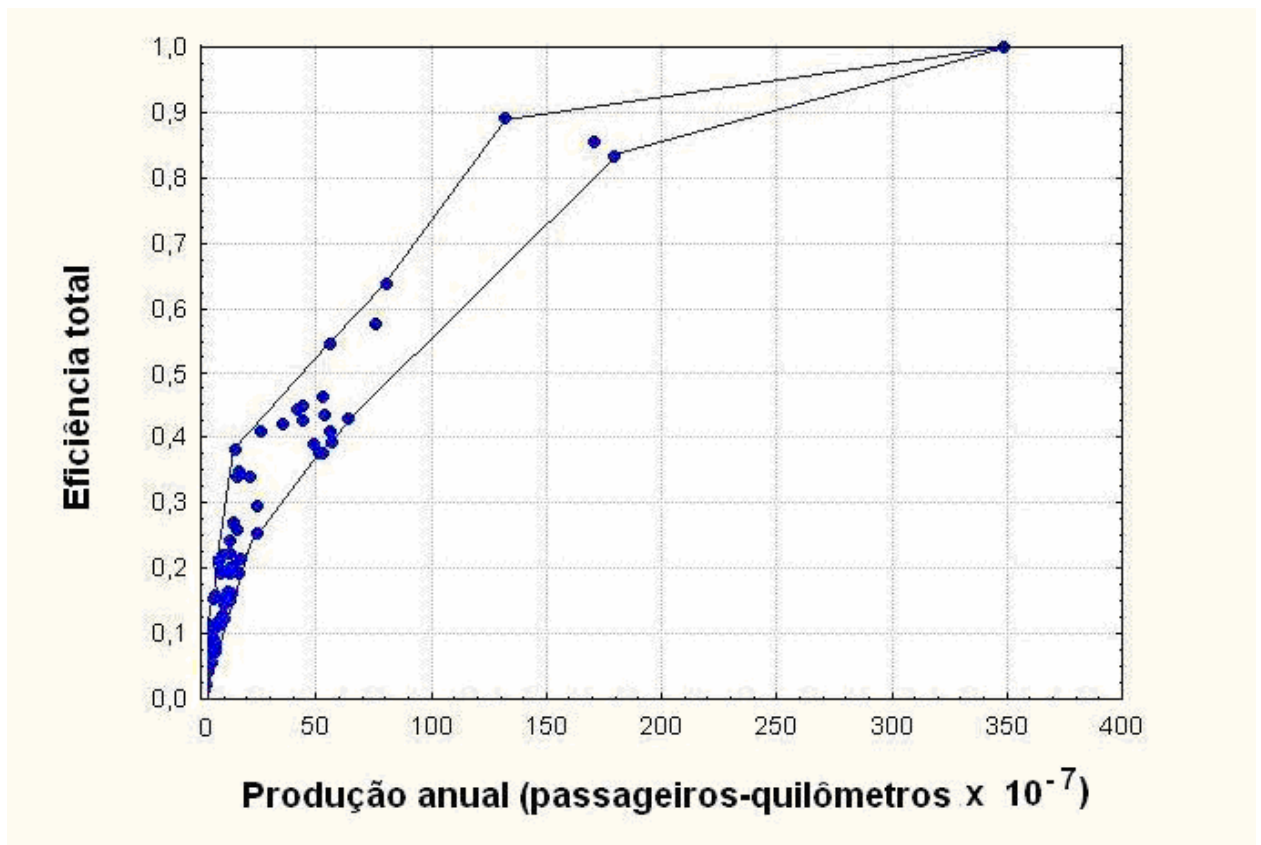


FIGURA 36 – Variação da eficiência total com o nível de produção anual.

6.6 Modelo DEA com retorno de escala variável

Conforme visto no Capítulo 5, o modelo DEA com retorno de escala variável é denominado BCC. A estrutura de entrada de dados no formato EMS é a mesma da indicada na seção 6.5.

A única alteração é a indicação de ganhos de escala variável na planilha EMS. As eficiências fornecidas pelo modelo BCC representam a eficiência técnica, conforme conceituação descrita no Capítulo 5.

A aplicação do modelo com retorno de escala variável (BCC) indicou 7 DMUs tecnicamente eficientes, ou seja 5,4 % da amostra. As empresas tecnicamente eficientes são apresentadas na TABELA 7.

TABELA 7 – Empresas tecnicamente eficientes (Modelo DEA/BCC).

Código da empresa	Denominação	Produção anual (PKM x 10⁻⁷)
15	Viação Itapemirim	348,51
454	Transcontinental S.A.	0,61
69	Empresa Nossa Senhora de Fátima	0,42
567	Empresa Bareza Turismo	0,28
455	Uneleste S.A.	0,15
248	Empresa Santa Rita	0,12
397	Viação Penedo	0,11

No Capítulo 7 trataremos com maiores detalhes dessas empresas, principalmente no que se refere ao *benchmarking* das DMUs ineficientes.

A variação da eficiência técnica ε_{tec} em função do nível de produção anual é mostrada na FIGURA 37, assim como a função exponencial negativa que foi ajustada estatisticamente aos dados através do software *Statistica*, e sua curva correspondente.

Observa-se grande variação da eficiência técnica para empresas com produção menor ou igual a 20×10^{-7} passageiros-km por ano, variando de aproximadamente 0,26 à 1,00.

Na faixa de $0 \leq PKM \leq 50 \times 10^{-7}$ passageiros-km por ano, a eficiência tende a decrescer, como mostra a FIGURA 37. Desse ponto em diante a curva sofre uma inflexão, tendendo, no limite, à eficiência plena para cerca de 350×10^{-7} passageiros-km.

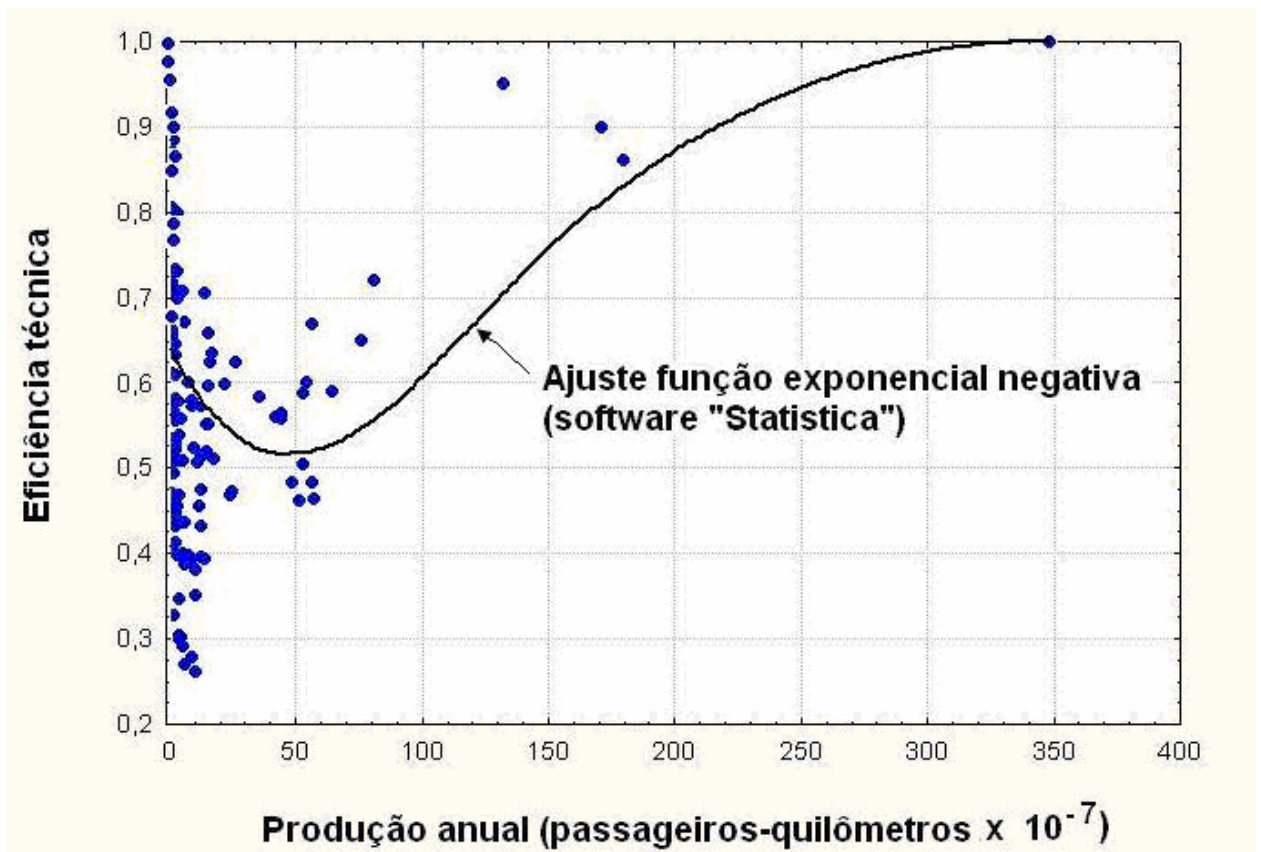


FIGURA 37 – Variação da eficiência técnica com o nível de produção anual

Devido à forte concentração de dados para empresas de menor porte, foi realizada outra análise em que a variável PKM foi substituída por $\ln(PKM)$. O resultado é mostrado na FIGURA 38. Observa-se que as empresas na faixa $1 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$ mostram tendência de eficiência técnica mais baixa, com o ponto de mínimo situado na faixa $5 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 10 \times 10^{-7}$ passageiros-km por ano.

Esses resultados mostram a necessidade de um esforço para melhoria do nível de desempenho das pequenas e médias empresas, com produção na faixa $1 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$.

Por outro lado, a FIGURA 38 mostra haver 9 DMUs tecnicamente eficientes na faixa $0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 1 \times 10^{-7}$ e, acima desse ponto, somente a DMU 15 (Viação Itapemirim). Ao fim deste capítulo discutiremos em maior detalhe este fenômeno.

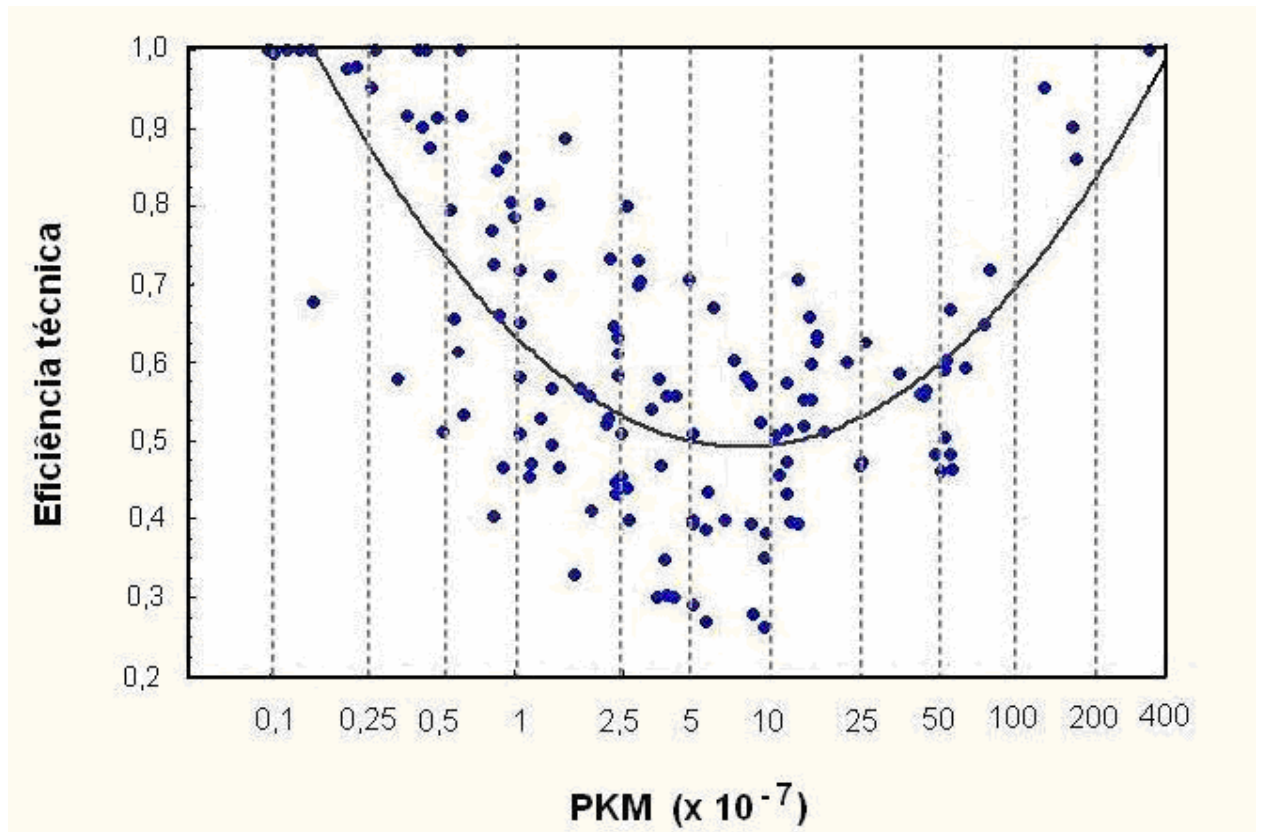


FIGURA 38 – Variação da eficiência técnica com o nível de produção anual, escala logarítmica.

6.7 Eficiência de escala

A eficiência de escala, conforme discutido no Capítulo 5, é obtida dividindo-se a eficiência total pela eficiência técnica:

$$\varepsilon_{esc} = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_{tec}} \quad (68)$$

Os valores obtidos para a eficiência de escala estão indicados na FIGURA 39, uma curva em “S” típica. Foi ajustada uma equação logística pelo método dos mínimos quadrados, do seguinte tipo:

$$\varepsilon_{esc} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{a} - 1\right) \exp(b \times \ln(PKM))} \quad (69)$$

que, linearizada, fornece:

$$\ln\left(\frac{1}{\varepsilon_{esc}} - 1\right) = \ln\left(\frac{1}{a} - 1\right) + b \times \ln(PKM) \quad (70)$$

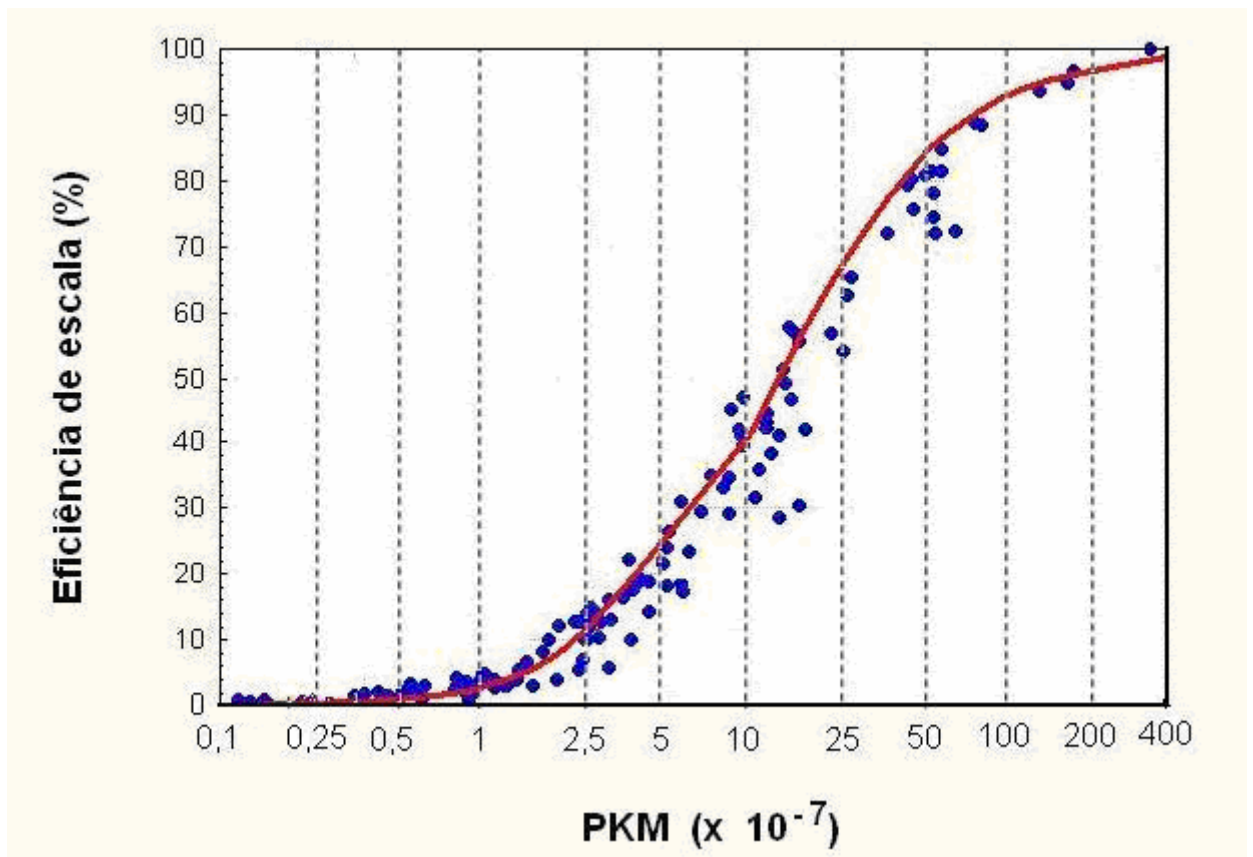


FIGURA 39 – Variação de eficiência de escala com o nível de produção anual.

O ajuste da relação (70) pelo método dos mínimos quadrados forneceu $a = 0,03507$ e $b = -1,27775$, com $R^2 = 0,857$. A estatística t de Student foi significativa a 1% tanto para a como para b .

Observa-se, através da FIGURA 39, que a eficiência de escala é praticamente nula para DMUs com produção até cerca de $1,0 \times 10^{-7} PKM$

De $1,0 \times 10^{-7} PKM$ até aproximadamente $40,0 \times 10^{-7} PKM$ a eficiência de escala cresce intensamente. Desse ponto em diante nota-se uma inflexão para baixo nos valores da eficiência de escala, porém mantendo-se ainda positivos.

A modelagem DEA permite verificar quais as DMUs que apresentam ganhos crescentes de escala e quais apresentam ganhos decrescentes. Para isso se aplica uma versão do modelo DEA denominado NIRS em Inglês (Coelli *et al.*, 1998), ou GENC (Ganhos de Escala Não Crescente). Aplicando-se o modelo EMS (que também inclui essa versão) para a amostra de DMUs, obtêm-se as eficiências $\varepsilon_{NIRS}^{(i)}$, onde i representa as DMUs. Anteriormente já foram obtidas as eficiências técnicas $\varepsilon_{tec}^{(i)}$ fornecidas pelo modelo BCC.

Para se saber se uma DMU apresenta ganho crescente ou decrescente de escala, aplicam-se as seguintes regras:

- Se $\varepsilon_{NIRS}^{(i)} = \varepsilon_{tec}^{(i)}$ a DMU i apresenta ganho decrescente de escala;
- Se $\varepsilon_{NIRS}^{(i)} \neq \varepsilon_{tec}^{(i)}$ a DMU i apresenta ganho crescente de escala.

O resultado dessa análise foi que todas as DMUs, à exceção da empresa de maior produção, a de número 15 – Viação Itapemirim, apresentaram ganhos crescentes de escala. Isso significa que há um forte estímulo para a expansão das empresas que operam no transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil.

6.8 Eficiência de gestão

Conforme analisado na seção anterior, as empresas com produção na faixa de $1,0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$ parecem enfrentar problemas de gestão. Tomamos as $k = 98$ empresas com produção nessa faixa e aplicamos novamente a esse subconjunto o modelo BCC. Obtivemos, assim, novos valores para as suas eficiências técnicas, representados por $ET_i^{(**)}$, com $i = 1, 2, \dots, k$ (vide Capítulo 5).

Considerando as eficiências técnicas obtidas anteriormente através do modelo BCC, e dadas por $ET_i^{(*)}$, a eficiência de gestão da DMU i é dada pela relação (Cowie e Asenova, 1999):

$$\varepsilon_{ges}^{(i)} = \frac{ET_i^{(*)}}{ET_i^{(**)}} \quad (71)$$

Na FIGURA 40 são apresentadas as eficiências de gestão em função do nível de produção (PKM), para as 98 DMUs da sub-amostra com produção na faixa $1,0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$.

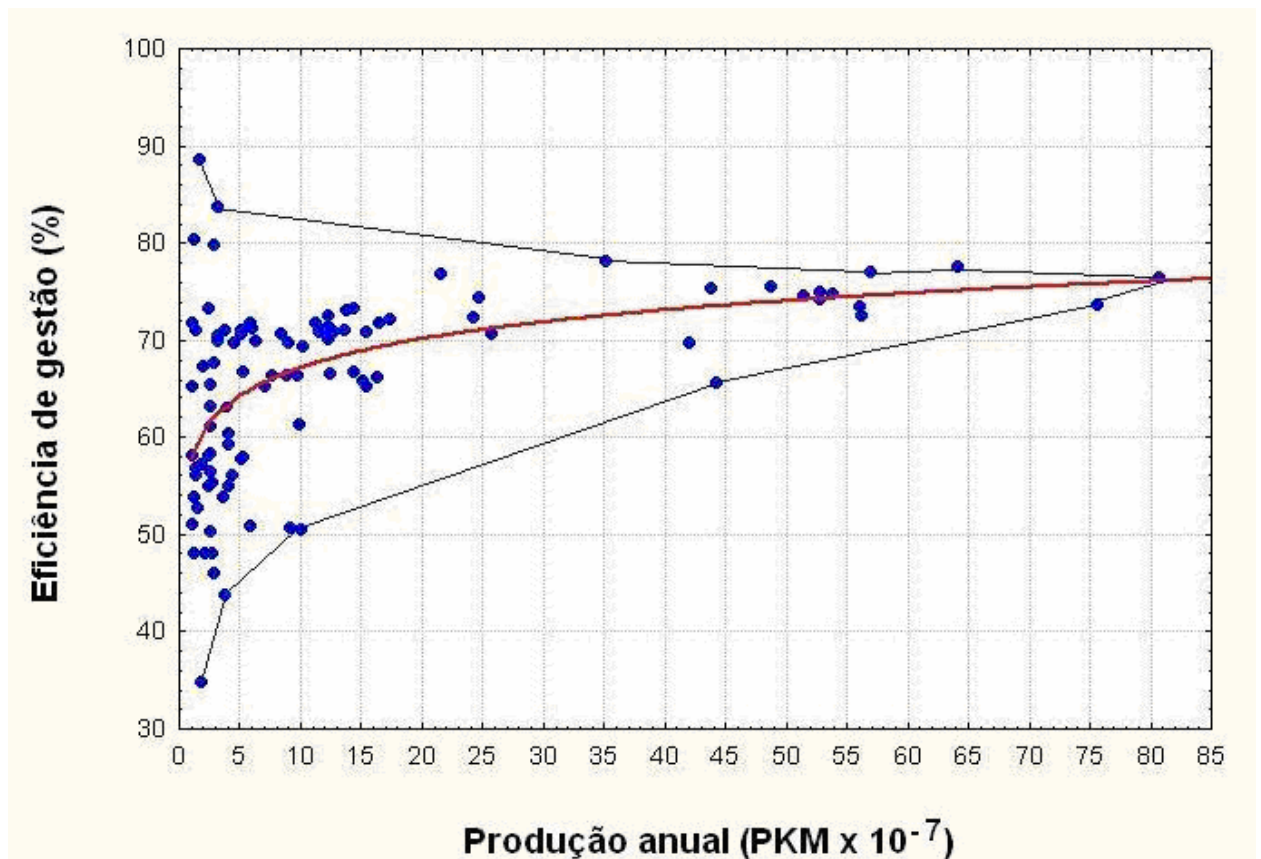


FIGURA 40 – Eficiência de gestão para as 98 empresas na faixa $1,0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$.

Observa-se que todas as empresas nessa faixa mostram ineficiência de gestão, confirmando nossa hipótese de que tais empresas apresentam problemas de crescimento. A curva média, ajustada através do *software* Statistica, é a seguinte:

$$\varepsilon_{ges} = 57,54 + 9,755 \times \log_{10}(PKM), \quad (72)$$

com PKM expresso em passageiros-km $\times 10^{-7}$. Para empresas com produção no extremo inferior do intervalo a eficiência de gestão é de aproximadamente 57%. Daí para diante a eficiência de gestão sobe rapidamente, atingindo cerca de 76% no limite superior, em torno de $85 \times 10^{-7} PKM$.

A eficiência de congestionamento não se aplica ao problema em questão, pois as empresas de ônibus que operam no transporte rodoviário interestadual de passageiros têm custos operacionais fortemente centrados nos custos variáveis.

Apenas as garagens de abrigo e manutenção dos ônibus podem ser enquadradas na categoria de despesas fixas. Os terminais para embarque e desembarque de passageiros não são próprios das empresas, mas são providas pelo poder público. As empresas pagam diretamente pelo seu uso, caracterizando essas despesas também como custo variável. Mesmo assim, se eventualmente ocorrerem congestionamentos nas garagens, podem lançar mão de soluções emergenciais de baixo custo, como aluguel de terrenos vagos, estacionamento de veículos na via pública, etc. Dessa forma a eficiência de congestionamento pode ser desprezada no presente caso.

6.9 Conclusões deste capítulo

Algumas conclusões importantes foram conseguidas através da aplicação dos modelos DEA à indústria de transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil. Em primeiro lugar, esse setor apresenta fortes ganhos de escala, o que foi também observado por Cowie e Asenova (1999), em seu estudo do transporte em ônibus na Grã-Bretanha.

O estudo de Silva *et al.* (1996) mostrou a existência de economias de escala tanto para as empresas menores como para empresas de porte médio, mas as empresas maiores apresentaram deseconomias de escala, resultado esse confirmado por nosso trabalho.

Outro aspecto importante é que as empresas pequenas não apresentam valores de eficiência técnica substantivamente menores do que as empresas de médio e grande porte. Observa-se, na TABELA 8, que as empresas pequenas apresentam eficiência técnica média de 61%, enquanto as médias e grandes apresentam 64,5%, somente 3,5% superior às primeiras. No entanto, a diferença na eficiência de escala é brutal: de 17,2% em média para as empresas pequenas, contra 83,8% para as de médio e grande porte, ou quase cinco vezes mais.

Observa-se também na TABELA 8 que as empresas com suposta deficiência de gestão, situadas na faixa $1,0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$, realmente apresentam nível de eficiência técnica significativamente menor, ou seja, com média de 52,8%, uma redução de quase 8% em relação às empresas pequenas e de quase 12% em relação às empresas médias e grandes.

As empresas na faixa $1,0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$, por sua vez, mostram eficiências de gestão na faixa entre 57% e 76%, com valor médio de 65,7%, conforme mostrado na TABELA 8.

TABELA 8 – Níveis de eficiência obtidos através da metodologia DEA.

Empresa	Nº. de DMUs	Eficiência técnica (%)		Eficiência de escala (%)		Eficiência de gestão (%)	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
-	-						
$PKM < 40 \times 10^{-7}$	118	61,0	20,5	17,2	17,3	-	-
$PKM \geq 40 \times 10^{-7}$	18	64,5	17,3	83,8	8,4	-	-
$1,0 \times 10^{-7} \leq PKM \leq 100 \times 10^{-7}$	98	52,8	12,8	32,6	25,7	65,7	9,8

Nota: μ = valor médio e σ = desvio padrão

Um elemento importante no desempenho das empresas de transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil parece ser os ganhos de escopo (*returns to scope*).

De fato, boa parte das empresas pequenas se dedicam intensivamente ao turismo. Nesses casos, operando linhas novas, com demanda relativamente baixa, tais empresas aproveitam os veículos para atividades de turismo, principalmente nos fins de semana.

Empresas maiores, por outro lado, conjugam o transporte interestadual com o transporte intra-estadual, esse último controlados por órgãos estaduais. Há assim ganhos de escopo adicionais expressivos.

7. BENCHMARKING DE EMPRESAS NÃO EFICIENTES

7.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado e discutido o processo de *Benchmarking*, seu conceito e as definições: geral e operacional. Em seguida a estrutura geral do processo de *benchmarking* e sua utilização com Análise Envoltória de Dados, a passagem de uma DMU não eficiente para a fronteira de eficiência e sua análise comparativa com seus pares eficientes. Após essa conceituação são apresentados exemplos de *Benchmarking*.

O material deste capítulo é baseado em Ross e Droge (2002), Thomas *et al.* (1998), Homburg (2001), Mohamed (1996), Kyro (2003), Kouzmin *et al.* (1999) e Hinton *et al.* (2000).

7.2 Conceituação de Benchmarking

O *benchmarking* é uma pesquisa de campo e/ou coleta de informações que permite a um gerente ou executivo comparar o desempenho de suas atividades com o desempenho da mesma função em outras empresas. O *benchmarking* identifica os processos, práticas e métodos gerenciais que a função ou centro de custos usaria se a empresa estivesse num ambiente realmente competitivo. O *benchmarking* é um indicador do que deveria ou poderia ser o desempenho de uma função da empresa, vis-a-vis à realidade externa representada pelas melhores práticas da indústria.

Embora o *benchmarking* deva ser um processo permanente e contínuo, em geral é iniciado somente quando uma empresa está perdendo participação no mercado, quando seus níveis de lucro estão declinando ou a insatisfação dos clientes está alta. Isto acontece muitas vezes porque, quando uma empresa não está em perigo, pode

não haver incentivos para reduzir os custos e para melhorar o desempenho operacional e econômico. O desempenho interno, ao contrário do ganho competitivo, muitas vezes é enfatizado para satisfazer metas e ambições pessoais. O rápido crescimento das vendas pode mascarar o desempenho inadequado das funções da empresa.

Os centros de custos, por sua própria natureza, deixam um vazio motivacional. Eles protegem a atividade da concorrência. Além disso, quando é dado destaque ao desempenho de acordo com o orçamento, muitas vezes se gasta tempo discutindo a respeito do tamanho do orçamento e não da melhoria do desempenho. Se o destaque é para a geração de lucros, o tempo deve ser gasto na geração de receitas, no controle de despesas e na previsão do ambiente competitivo. O *benchmarking* é uma maneira eficaz de superar essas deficiências e forçar os setores da empresa a testarem constantemente sua capacidade de serem competitivos e lucrativos em relação ao ambiente externo.

No *benchmarking*, a meta do gerente é identificar as empresas que demonstram desempenho superior em funções a serem usadas como referência, de modo que suas práticas, processos e métodos possam ser estudados, documentados e melhorados. Uma investigação de *benchmarking* bem executada pode fornecer a um gerente informações detalhadas a respeito das melhores práticas funcionais da indústria. Essas práticas podem então ser usadas ou modificadas para se estabelecer uma vantagem competitiva, a longo prazo, no mercado.

O *benchmarking* pode beneficiar uma empresa de diversas maneiras:

- Ele possibilita que as melhores práticas de qualquer indústria sejam incorporadas de forma criativa aos processos da função analisada.
- Ele pode proporcionar estímulo e motivação aos profissionais cuja criatividade é exigida para a execução e implementação dos resultados da investigação.
- O *benchmarking* permite vencer a forte relutância do pessoal de operações de aceitar as mudanças. Constatou-se que as pessoas são mais receptivas a novas

idéias e sua adoção criativa quando estas não se originaram necessariamente na sua própria indústria.

- O *benchmarking* também pode identificar, em outras indústrias, avanços tecnológicos que não seriam reconhecidos e, portanto, não aplicados na própria indústria. Um exemplo é o do código de barras, originalmente adotado e comprovado na indústria alimentícia. Em casos como esse, é mais importante descobrir as melhores práticas da indústria do que concentrar-se na obtenção de dados comparativos de custos. A unidade de negócios pode determinar por si mesma os níveis de custo que poderiam ser alcançados caso ela incorporasse as práticas analisadas às suas próprias operações.
- Finalmente, os envolvidos no processo de *benchmarking* muitas vezes constataam que os contatos e interações dele decorrentes têm valor inestimável para o futuro crescimento profissional. Eles permitem que os indivíduos ampliem sua experiência, tornando-os mais úteis para a organização em futuras atribuições.

7.2.1 Definição de Benchmarking

A definição formal de *benchmarking* deriva das experiências e sucessos dos primeiros tempos de sua aplicação na área de fabricação de produtos:

“*Benchmarking* é o processo contínuo de medição de produtos, serviços e práticas em relação aos mais fortes concorrentes, ou às empresas reconhecidas como líderes em suas indústrias”.

(David T. Kearns, executivo chefe, Xerox Corporation)

Existe, na definição acima, várias considerações que exigem descrições mais detalhadas.

Processo contínuo: *benchmarking* é um processo gerencial e de auto-aperfeiçoamento, que precisa ser contínuo para ser eficaz. Ele não pode ser executado uma vez e depois negligenciado, na crença de que a tarefa foi concluída. Ele precisa ser um processo contínuo, porque as práticas da indústria mudam constantemente. Os líderes ficam mais fortes a cada instante. As práticas precisam ser continuamente monitoradas, para garantir a descoberta das melhores. Somente as empresas que perseguem o *benchmarking* com disciplina terão sucesso em alcançar um desempenho superior. Em um ambiente de mudanças constantes, a complacência é fatal.

Medição: o termo *benchmarking* significa medição comparativa. Esta pode ser realizada de duas formas. As práticas internas e externas podem ser comparadas e uma declaração de diferenças significativas pode ser documentada. Trata-se de uma declaração das melhores práticas da indústria que devem ser implementadas para se atingir níveis superiores, embora ela seja de natureza qualitativa.

Produtos, serviços e prática: o *benchmarking* pode ser aplicado a todas as facetas de uma empresa. Ele pode ser aplicado aos produtos e serviços básicos. Pode ser aplicado aos processos que entram na fabricação desses produtos. E pode ser aplicado a todas as práticas e métodos de processos de apoio para se levar, de forma eficaz, esses produtos e serviços aos clientes e satisfazer suas necessidades. O *benchmarking* vai além da análise competitiva tradicional, para revelar não apenas quais são as melhores práticas da indústria, mas também para obter uma clara compreensão de como essas práticas são usadas.

Empresas reconhecidas como líderes em suas indústrias: não se deve visar somente os concorrentes diretos dos produtos de uma empresa. Na verdade, seria um erro fazer isso, uma vez que eles podem ter práticas abaixo do desejável. O *benchmarking* deve ser dirigido para as empresas e funções reconhecidas como sendo as melhores ou líderes em suas indústrias, tais como bancos para o processamento de documentos isentos de erros. A empresa que serve como parceria de *benchmarking* nem sempre é óbvia. É necessária uma investigação cuidadosa para se determinar as

empresas a serem buscadas como parceiras de *benchmarking*, e por quê. Felizmente existem maneiras para se descobrir quem deve ser escolhido e por quê.

7.2.2 Definição Operacional

A definição de *benchmarking*, vista pela perspectiva de alguém que tenha estado envolvido no processo por um determinado número de anos e utilizado muitas vezes o processo, incorpora as definições anteriores, mas vai além, para enfatizar algumas considerações importantes não incluídas na definição. A definição operacional preferida para *benchmarking* é:

Benchmarking é a busca das melhores práticas na indústria que conduzem ao desempenho superior.

Esta definição é preferida porque é compreensível para as unidades de negócios e funções operacionalmente orientadas. Se elas conhecem bem suas operações, então a busca para assegurar a incorporação das melhores práticas comprovadas é um objetivo claro. A definição cobre todos os empreendimentos empresariais possíveis, sejam produtos, serviços ou processos de apoio.

O foco está nas práticas. Somente através de mudanças nas práticas ou métodos correntes de execução dos processos é que a eficácia global será alcançada. O foco enfatiza as práticas e sua compreensão antes de ser derivada uma métrica de *benchmarking*. As métricas do *benchmarking* são vistas como resultado da compreensão das melhores práticas e não como algo que pode ser quantificado antes e compreendido depois.

A definição se concentra no atingimento de desempenho superior. A este respeito ela busca o *dantotsu*, a melhor das melhores práticas, a melhor da classe ou da espécie. Isto é, as melhores práticas que devem ser buscadas independentemente de onde

estão – na própria empresa ou indústria, ou fora dela. Somente esta visão poderá assegurar superioridade ao invés de paridade.

A definição é pró-ativa e um empreendimento positivo. É calculada para obter cooperação dos parceiros de *benchmarking*. Poucos profissionais objetariam a busca constante das melhores práticas. É preciso haver trocas de idéias e debates constantes a respeito de como a indústria está indo para que ela se auto-aperfeiçoe constantemente. Isso ocorrerá somente se a busca for aberta e vista como um benefício para ambos os parceiros de *benchmarking*.

O *benchmarking* deve ser abordado como uma parceria na qual ambas as partes esperam ganhar com a partilha de informações. A discussão de práticas e métodos, especialmente entre empresas não concorrentes, somente pode resultar em ganhos para ambas as partes. Mesmo empresas concorrentes podem ganhar com discussões que abordem de forma adequada tópicos exclusivos e sensíveis. A concentração nas melhores práticas permite que esse objetivo seja alcançado.

O *benchmarking* deve motivar os gerentes porque é uma atividade positiva, percebida como mecanismo de aperfeiçoamento das operações para a busca pró-ativa das melhores práticas. Somente através do teste de encontrar o melhor do melhor na indústria é que qualquer gerente poderá justificar sua própria operação e garantir que seu desempenho está de acordo com o padrão máximo do setor.

7.2.3 Estrutura geral do processo de benchmarking

O *benchmarking* é a aplicação formalizada e mais disciplinada desses passos básicos para o aperfeiçoamento operacional e a conquista da superioridade. O processo genérico de *benchmarking* é mostrado na FIGURA 41.

O processo genérico de *benchmarking* faz várias colocações importantes, que irão ajudar na sua rápida compreensão. Em primeiro lugar, o *benchmarking* pode ser dividido em duas partes: as práticas e as métricas.

As práticas são definidas como os métodos que são usados; as métricas representam os efeitos quantificados da instalação das práticas. Cada uma delas pode ser investigada pelo processo. A tendência é dos gerentes trabalharem na determinação dos alvos quantitativos ou métricos, para que possam compreender rapidamente o que de bom ou de mau a organização obterá com o *benchmarking*, em relação ao ambiente externo.

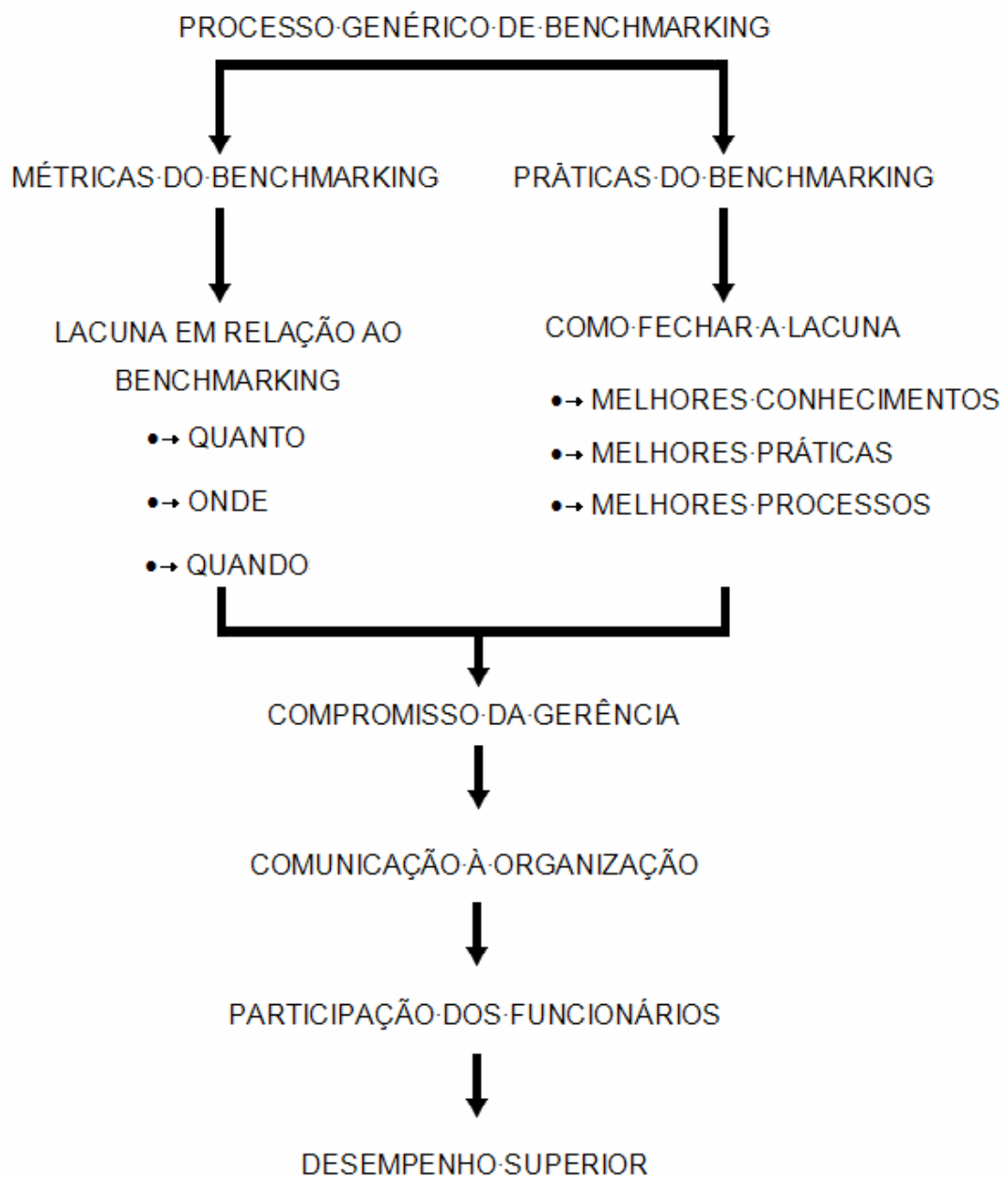


FIGURA 41 – Processo genérico de *Benchmarking*.

O *benchmarking* deve ser abordado investigando-se inicialmente as práticas da indústria. As métricas que quantificam o efeito das práticas podem ser obtidas ou sintetizadas mais tarde. Não é possível, apenas com a métrica, determinar por que existem as lacunas. Somente as práticas nas quais ela se baseia podem fazê-lo. O reverso nem sempre é possível, e pode desorientar e frustrar as finalidades do *benchmarking*.

O último ponto é que o processo e as constatações do *benchmarking* precisam ser compreendidos pela organização para se obter o compromisso com as providências necessárias para mudar.

7.3 Benchmarking com Análise Envoltória de Dados

7.3.1 Passagem de uma DMU não eficiente para a fronteira de eficiência

O *benchmarking* de uma DMU não eficiente em relação às DMUs eficientes (que representam as melhores práticas) pode ser realizado com o apoio parcial dos resultados da aplicação do DEA. De fato, o método DEA envolve modelos matemáticos que, apesar de fornecerem importantes subsídios para a análise, são limitados às informações quantitativas disponíveis.

No entanto as indicações obtidas com o DEA podem ajudar em muito à determinação das empresas eficientes que podem servir de referência para o processo de aprimoramento de uma empresa não eficiente.

Para o *benchmarking* de uma empresa não eficiente consideram-se as possíveis melhorias de sua eficiência técnica de modo a levá-la à fronteira de eficiência. Admite-se que a eficiência de escala não pode ser mudada a curto prazo, pois isso implicaria numa expansão maciça da empresa, o que não é viável na prática.

Como consequência, parte-se do modelo DEA do tipo BCC, que é o que determina a eficiência técnica das DMUs. No nosso caso, o modelo BCC é orientado à

minimização dos inputs, com distância radial (FIGURA 42), conforme indicado no Capítulo 6.

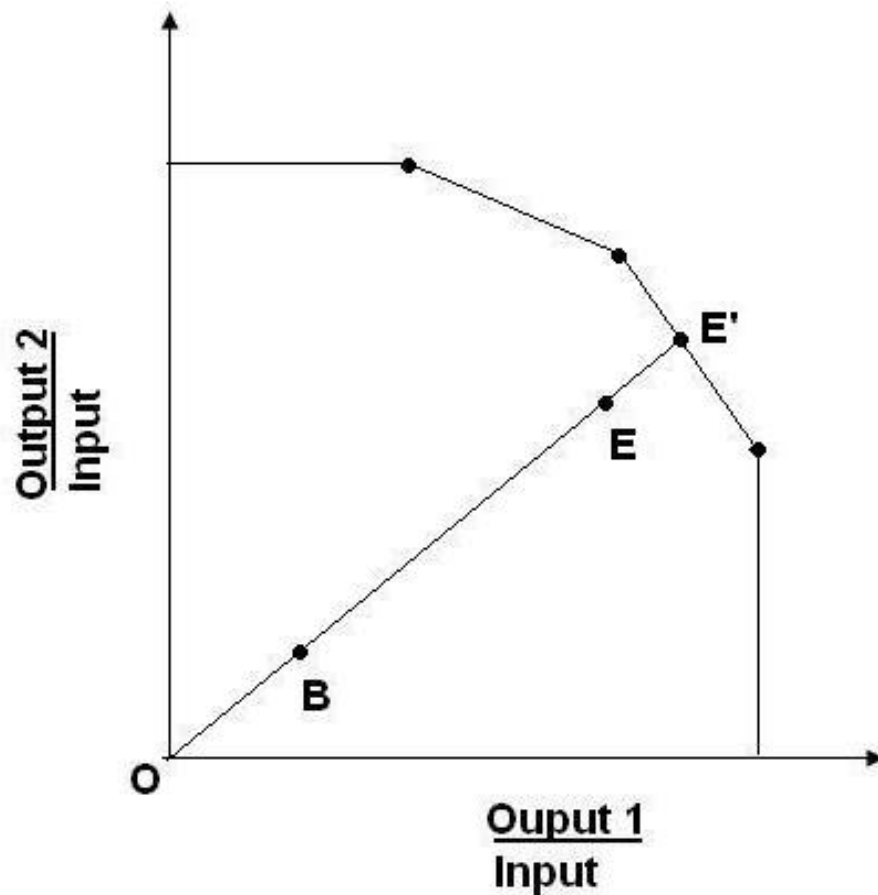


FIGURA 42 – Passagem de um ponto E de ineficiência para a fronteira de eficiência (Modelo BCC).

A FIGURA 42 ilustra o caso com um input e dois outputs. Colocando a relação entre o output 1 e o input no eixo das abscissas, e a relação entre o output 2 e o input nas ordenadas, podemos representar uma DMU qualquer não eficiente pelo ponto E.

A passagem da DMU não eficiente E para a fronteira de máxima eficiência se faz prolongando a reta que passa pela origem O e pelo ponto E até a envoltória (distância radial), resultando no ponto E', conforme indicado na FIGURA 42. Matematicamente é necessário considerar certos parâmetros fornecidos pelo modelo DEA do tipo BCC, conforme analisado a seguir.

O modelo BCC respectivo é dado por (Cooper et al., 2000, seção 5.7.2):

$$\text{Min } \theta_E \quad (73)$$

$$\text{sujeito a: } \theta_E x_{iE} - \sum_{\ell=1}^n \lambda_{\ell} x_{i\ell} \geq 0 \quad , \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (74)$$

$$\sum_{\ell=1}^n \lambda_{\ell} y_{j\ell} \geq y_{jE} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, S \quad (75)$$

$$\sum_{\ell=1}^n \lambda_{\ell} = 1 \quad (76)$$

onde θ_E é um escalar representando a eficiência da DMU_E, n é o número de DMUs, M é o número de inputs e S é o número de outputs. A solução do problema acima fornece os novos valores dos inputs e dos outputs para a DMU_E não eficiente, valores esses que a empresa deveria implementar para passar a ser eficiente:

$$x'_{iE} = \theta_E^* x_{iE} - s_{iE}^- \quad , \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (77)$$

$$y'_{jE} = y_{jE} + s_{jE}^+ \quad , \quad j = 1, 2, \dots, S \quad (78)$$

onde x'_{iE} e y'_{jE} são os valores dos inputs e outputs da DMU_E na fronteira de eficiência, θ_E^* é o valor da eficiência técnica gerada pelo modelo BCC para a DMU_E, sendo s_{iE}^- e s_{jE}^+ variáveis de folga (*slacks*) do problema de programação linear. A variável de folga s_{iE}^- representa o excesso do input i , para a DMU_E, que deve ser reduzido e s_{jE}^+ representa a deficiência do output j , que deve ser acrescido.

Quando a DMU_E for eficiente (estando, portanto, na fronteira de máxima eficiência), tem-se $\theta_E^* = 1$, $s_{iE}^- = 0$ e $s_{jE}^+ = 0$, portanto $x'_{iE} = x_{iE}$ e $y'_{jE} = y_{jE}$.

Esse processo matemático de passagem de uma DMU não eficiente para a fronteira de máxima eficiência deve ser feito com cuidado. De fato, assume-se que os diversos

inputs e outputs sejam extrapolados guardando relações matemáticas precisas, mas essas relações podem perder o sentido quando o ponto E estiver muito distante da envoltória, como é o caso do ponto B na FIGURA 42. Ou seja, esse tipo de extrapolação é normalmente aceitável quando o valor de $\theta^\#$ estiver relativamente próximo da unidade.

7.3.2 Análise comparativa entre uma DMU não eficiente e seus pares eficientes

Suponhamos que, após aplicação do modelo BCC, a DMU_E foi definida como não eficiente. Associada a essa DMU não eficiente existe um ponto virtual, na envoltória convexa, que pode ser expresso como a combinação linear das DMUs eficientes. As DMUs eficientes que apresentarem valores de $\lambda \neq 0$ para a DMU não eficiente em questão, formam o grupo de pares eficientes que poderão ser utilizados como referência para o *benchmarking* da DMU_E . O valor de $\lambda_i^E \neq 0$ indica a intensidade com que a DMU eficiente i servirá de referência para o *benchmarking* da unidade E.

Exemplificando, suponhamos que a aplicação do modelo BCC à DMU não eficiente E resultou nos seguintes valores de λ :

$$\lambda_i^{(E)} = 0,4, \quad \lambda_j^{(E)} = 0,5 \quad \text{e} \quad \lambda_k^{(E)} = 0,1 \quad (79)$$

onde i, j e k são as DMUs eficientes que servem de referência para o *benchmarking* de E. Os valores de λ para as demais DMUs são nulos, indicando que não são referências para a DMU_E . Esses resultados fictícios indicam que a DMU j tem um peso igual a 0,5 no *benchmarking*, enquanto a DMU i apresenta um peso 0,4 e a unidade k influi bem menos, com um peso igual a apenas 0,1.

Na TABELA 9 são mostradas as quantidades de vezes que as sete DMUs tecnicamente eficientes são chamadas para servir de referência no *benchmarking* de unidades não eficientes.

Já vimos que a DMU 15 – Viação Itapemirim – é a única da amostra que é plenamente eficiente, já que apresenta 100% de eficiência técnica e 100% de eficiência de escala. Na FIGURA 43 apresentamos um gráfico de variação dos valores de λ em relação ao nível de produção das unidades não eficientes, quando se adota a DMU 15 como referência.

TABELA 9 – Empresas eficientes – referências de *benchmarking*.

Código da empresa	Denominação	Número de DMUs não eficientes relacionadas para <i>benchmarking</i>
15	Viação Itapemirim	46
454	Transcontinental S.A.	32
69	Empresa Nossa Senhora de Fátima	3
567	Empresa Bareza Turismo	13
455	Uneleste S.A.	97
248	Empresa Santa Rita	67
397	Viação Penedo	18

O gráfico da FIGURA 43 mostra dois pontos importantes:

1. A DMU 15 só começa a ter importância para o *benchmarking* de unidades não eficientes com porte relativamente elevado ($PKM \leq 50 PKM \times 10^{-7}$);
2. Os valores de λ relacionados com a DMU 15 são todos menores do que 0,5, com média $\lambda = 0,08$ e valor máximo igual a 0,47.

Essas constatações indicam que a DMU 15, por se apresentar bastante diferenciada das demais em termos de produção, é quase um *outlier* na amostra. Ou seja, apesar de ser a mais eficiente, não tem muitas características em comum com as demais em termos produtivos. Não obstante, deve servir de referência futura para as unidades não eficientes de maior porte, pois essas são as que apresentam maiores possibilidades de crescimento e de aumento da produtividade.

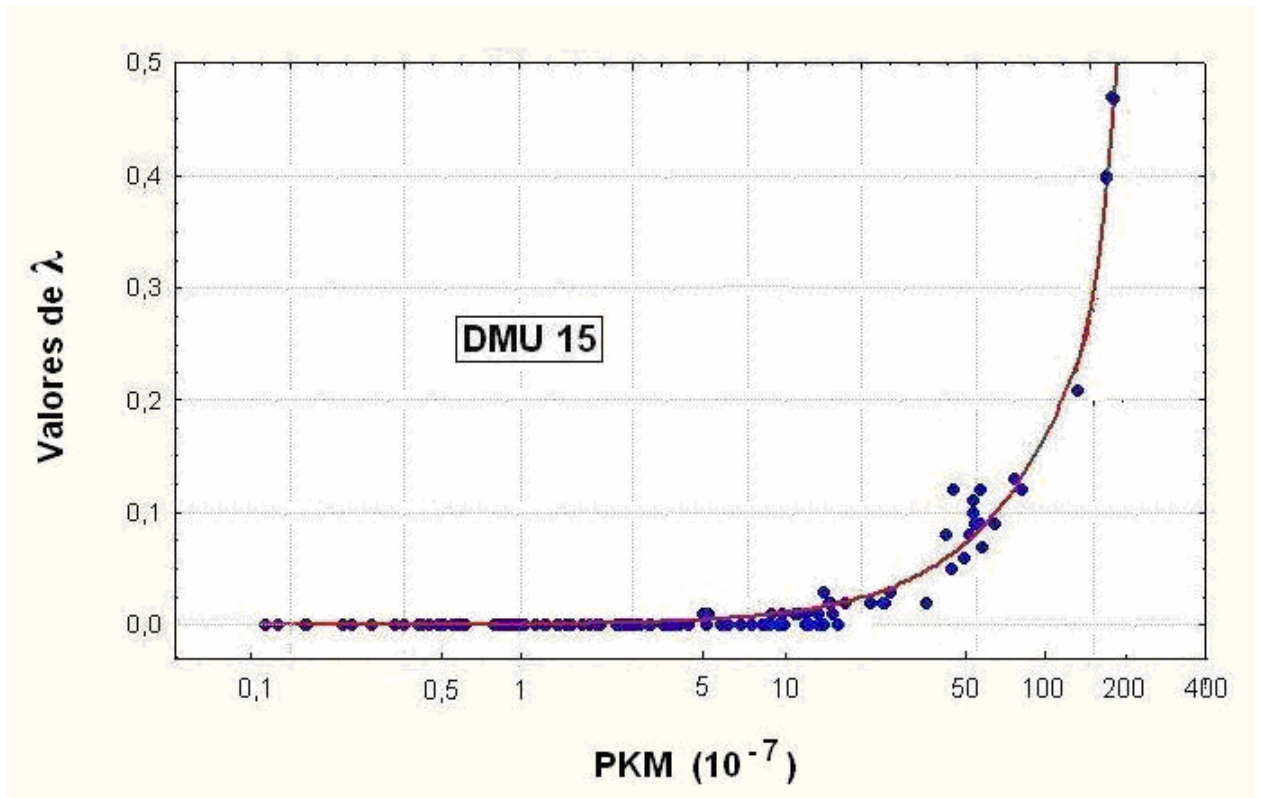


FIGURA 43 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 15).

A DMU que apresenta maior número de chamadas para *benchmarking* é a de nº 455 – Uneleste S.A., conforme mostrado na TABELA 9 (97 chamadas).

A FIGURA 44, por sua vez, mostra a variação dos valores de λ em relação ao nível de produção das unidades não eficientes, tomando como referência a DMU 455, observa-se um comportamento bastante diferente da DMU 15 anterior.

A Uneleste S.A. é solicitada como referência de *benchmarking* para unidades não eficientes com $PKM \leq 50 PKM \times 10^{-7}$, cobrindo todo o espectro na faixa $0 \leq PKM \leq 50 PKM \times 10^{-7}$.

Além disso, os valores de λ cobrem basicamente o espectro entre 0,2 e 1,0, com uma expressiva concentração em valores próximos da unidade. Isso mostra que a DMU 455 é uma importante referência geral para *benchmarking*. Em termos aproximados, pode-se dizer, pela observação da FIGURA 44, que a DMU 455 cobre, com densidade

razoavelmente uniforme, o espectro $0,1 PKM \times 10^{-7} \leq PKM \leq 50 PKM \times 10^{-7}$ e $0,2 \leq \lambda \leq 1,0$.

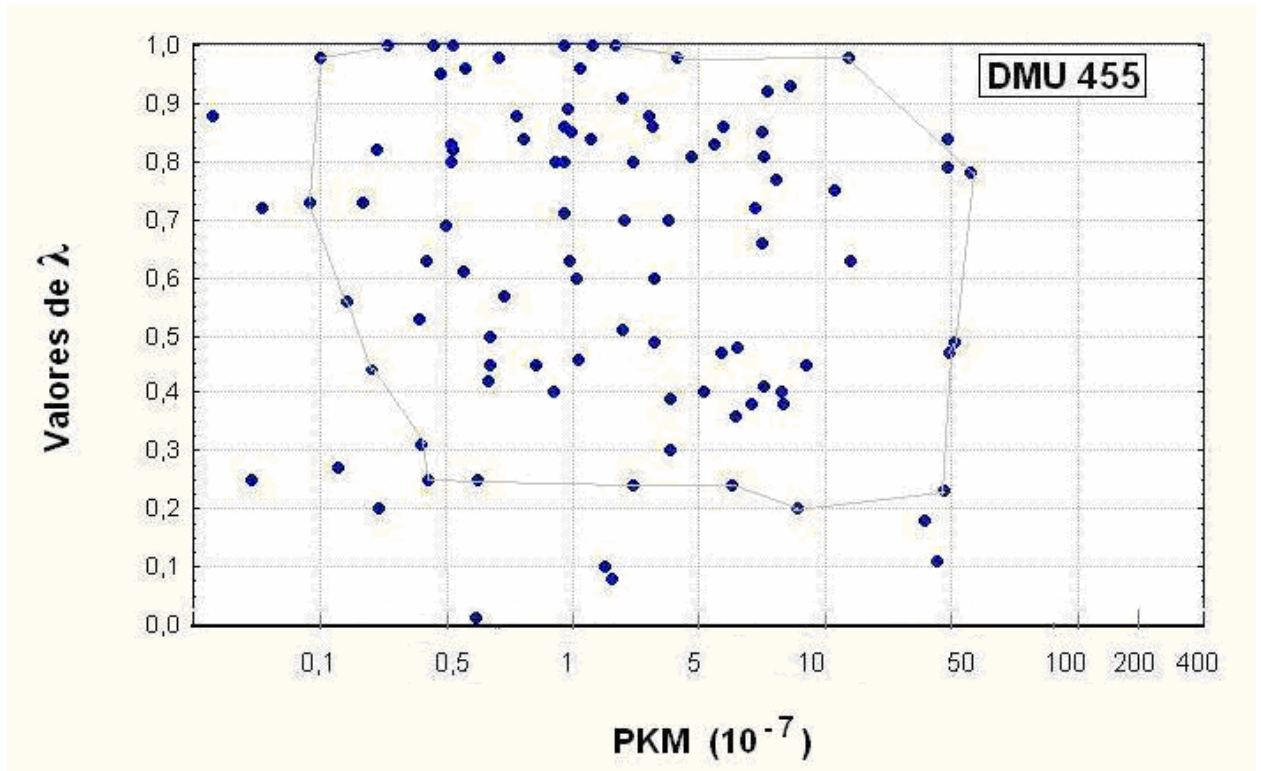


FIGURA 44 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 455).

A próxima DMU eficiente em termos de número de chamadas para *benchmarking* é a de nº. 248 – Santa Rita, com 67 chamadas (TABELA 9 e FIGURA 45).

Observa-se, agora, um comportamento um pouco diferente das duas DMUs anteriores. A DMU 248 é solicitada como referência de *benchmarking* para unidades não eficientes no espectro na faixa $2,5 PKM \times 10^{-7} \leq PKM \leq 200 PKM \times 10^{-7}$.

Além disso, os valores de λ cobrem todo o espectro entre zero e um, com uma expressiva concentração em valores próximos da unidade. Isso mostra que a DMU 248 é também uma importante referência geral para *benchmarking*.

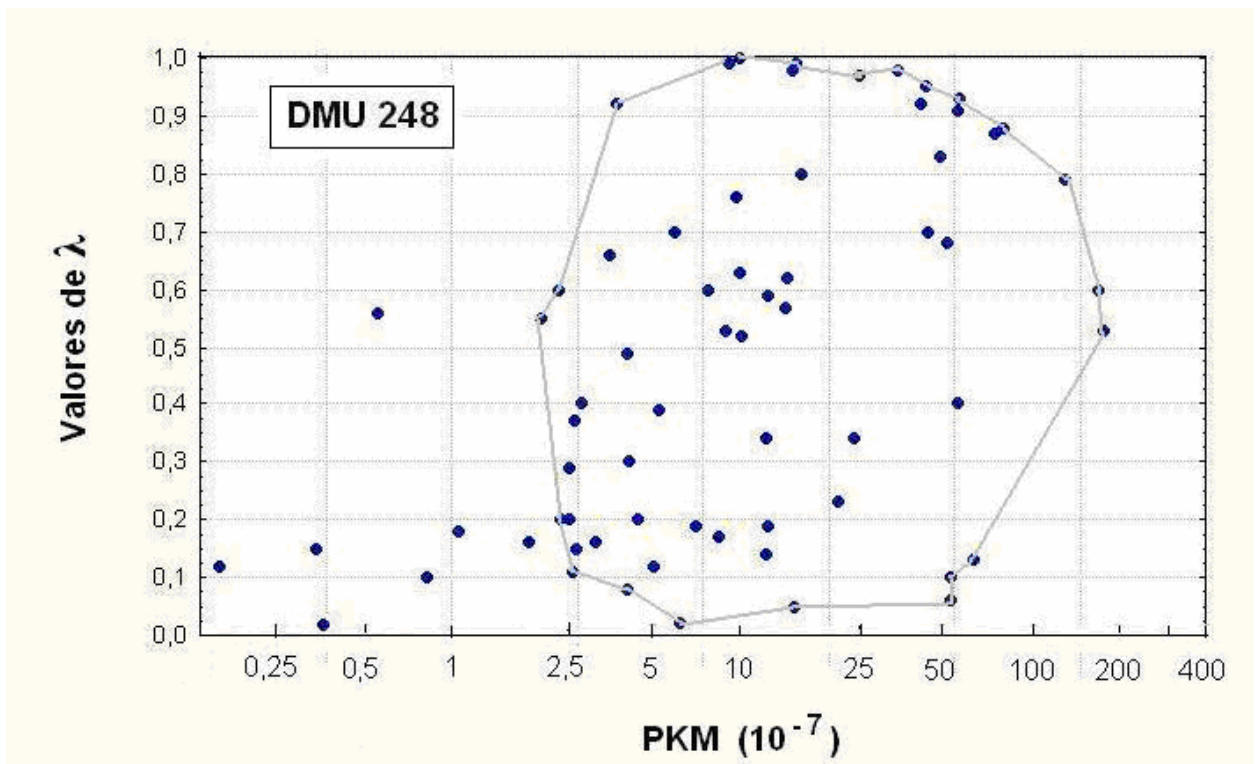


FIGURA 45 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 248).

A próxima DMU eficiente em termos de número de chamadas para *benchmarking* é a de nº 454 – Transcontinental S.A., com 32 chamadas (TABELA 9 e FIGURA 46).

A cobertura desta DMU é menos ampla, não somente em razão do número menor de DMUs não eficientes a ela associadas, como também em razão do campo de variação. De fato, a DMU 454 é solicitada como referência de *benchmarking* para unidades não eficientes no espectro na faixa $0,4 PKM \times 10^{-7} \leq PKM \leq 40 PKM \times 10^{-7}$.

Além disso, os valores de λ não incluem participação plena ($\lambda = 1$), observando-se $0,0 \leq \lambda \leq 0,95$, sem concentração de valores próximos da unidade. Isso mostra que a DMU 454 é uma unidade de menor importância como referência geral para *benchmarking*.

Finalmente, as três DMUs restantes, de números 69, 567 e 397 (TABELA 9), são ainda menos importantes como referência para *benchmarking*.

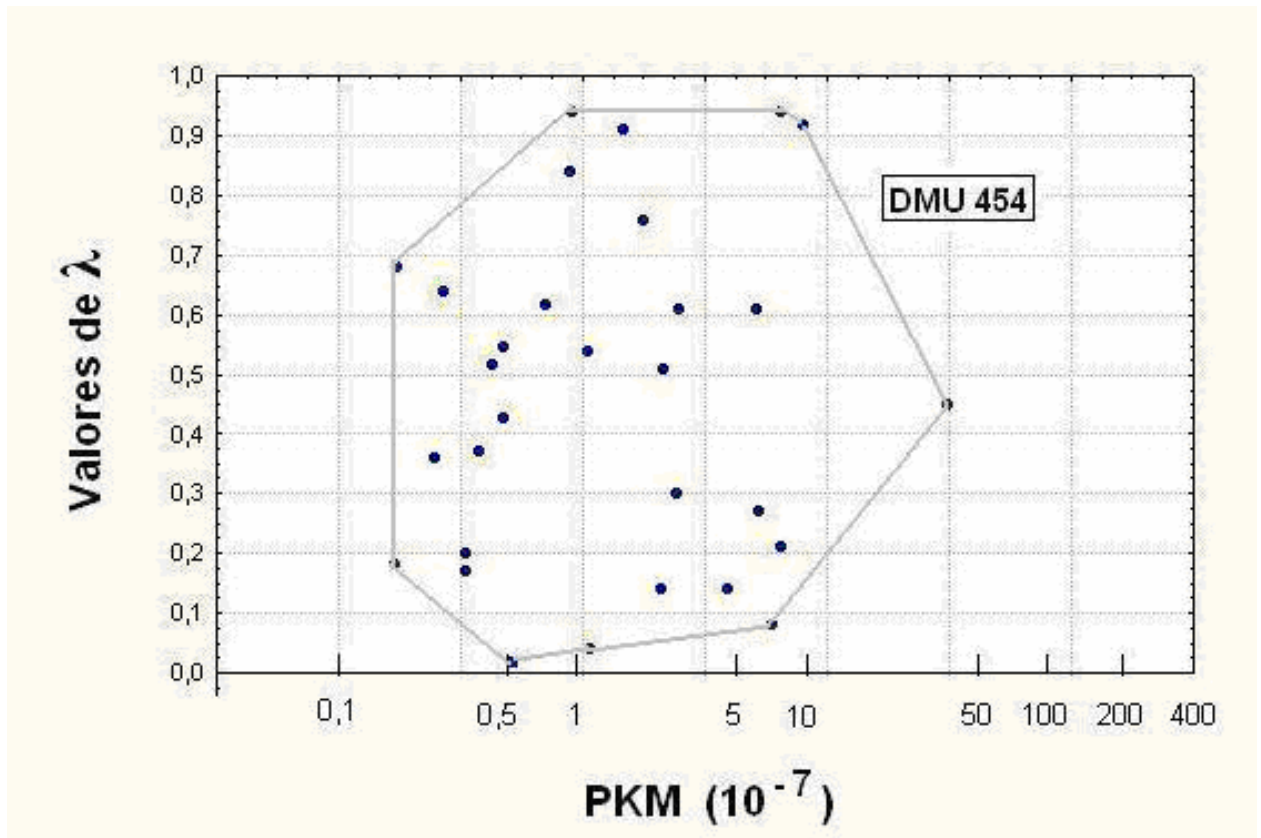


FIGURA 46 – Variação de λ em função do nível de produção (DMU 454).

7.4 Exemplos de Benchmarking

Nesta seção apresentaremos dois exemplos de *benchmarking*, referentes à empresa nº 127, Cia. São Geraldo de Viação e empresa nº 45, Auto Viação Catarinense Ltda.

7.4.1 Benchmarking da empresa São Geraldo

Trata-se de uma empresa relativamente grande, a terceira do ranking em termos de produção, embora apresente um total de passageiros-quilômetros apenas 49% do movimento apresentado pela primeira colocada, a Viação Itapemirim.

A eficiência técnica da empresa São Geraldo é bastante razoável, da ordem de 90% e a eficiência de escala, por sua vez, é bastante elevada, na faixa de 95%.

Para o *benchmarking* dessa empresa, o modelo DEA apontou a empresa de nº 15, Viação Itapemirim. A TABELA 10 mostra, de forma comparativa, as principais características das duas empresas.

TABELA 10 – Quadro comparativo para *benchmarking* da empresa São Geraldo.

Atributo	Empresa a ser analisada	Empresa referência p/ <i>benchmarking</i>
Discriminação da empresa	127 – São Geraldo	15 - Itapemirim
Índices de Eficiência		
Eficiência Total (%)	85,5	100,0
Eficiência Técnica (%)	90,1	100,0
Eficiência de Escala (%)	94,9	100,0
Características Gerais		
Produção anual (PKM)	1.708.827.485	3.485.091.922
Passageiros transportados (PAX)	1.486.332	3.216.436
Frota de ônibus	679	1.146
Nº de motoristas	1.610	2.384
Nº de linhas	123	230
Nº de viagens	56.048	117.962
Idade média da frota (anos)	8	10
Quilômetros percorridos pela frota	82.221.341	135.510.753
Índices Técnicos		
PMA (km)	121.092	118.247
IAP (%)	45,2	55,9
Motoristas/ônibus	2,37	2,08

TABELA 10 – Quadro comparativo para *benchmarking* da empresa São Geraldo –
Continuação.

Atributo	Empresa a ser analisada	Empresa referência p/ benchmarking
Discriminação da empresa	127 – São Geraldo	15 - Itapemirim
Índices Técnicos – Continuação		
Extensão média de uma viagem de ônibus (km) - XONB	1.467,0	1.148,8
Extensão média da viagem de um passageiro (km) - XPAX	1.149,7	1.083,5
XPAX / XONB	0,784	0,943
Frequência média semanal de todas as linhas da empresa	8,76	9,86

Os seguintes pontos, com relação aos índices técnicos, podem ser observados:

- a) No que se refere ao índice IAP, a empresa Itapemirim mostra um valor 24% superior ao da empresa São Geraldo. Ocorre que muitos passageiros da segunda empresa percorrem trechos parciais nas diversas linhas, ou seja, sobem e/ou descem dos ônibus em pontos intermediários, levando a uma sub-utilização da frota. Isso pode ser visto através da relação entre a distância média percorrida pelo passageiro e a distância média percorrida pelo ônibus (índice XPAX / XONB na TABELA 10). O passageiro da empresa Itapemirim percorre, em média, uma distância 20% maior do que a correspondente na empresa São Geraldo. Assim, a primeira conclusão que se pode extrair desta análise comparativa é que a empresa São Geraldo deve se esforçar para conquistar passageiros com percursos relativamente maiores nas suas linhas. Isso pode ser conseguido de diversas formas, sendo aconselhável realizarem visitas para levantar in loco as características locais antes de se fazer o diagnóstico;
- b) A relação entre o número de motoristas e o número de ônibus na frota é outro índice que deve ser analisado. A empresa Itapemirim apresenta uma relação igual

à 2,08, contra 2,37 para a empresa São Geraldo (TABELA 10). A primeira consegue operar assim com 12,2% menos mão-de-obra, em termos relativos. Conclui-se, assim, que a empresa São Geraldo deverá reestruturar as atividades de seus motoristas, procurando melhorar esse índice. É claro que essa meta vai depender das características específicas das redes de linhas das duas empresas, que só poderão ser cotejadas através de visitas in loco;

- c) O terceiro elemento a considerar é o número médio de freqüências semanais por linha. Esse índice é estimado dividindo-se o número anual de viagens pelo número de linhas, e depois dividindo o resultado pelo número de semanas no ano (52 semanas). Esse índice é também mostrado na TABELA 10, sendo que a empresa Itapemirim oferece, em média, 9,86 freqüências semanais por linha, enquanto a São Geraldo oferece 8,76, ou 11,2% menos. Uma freqüência semanal menor significa menor concentração de esforços nas diversas linhas, indicando à necessidade de maior enfoque direcionado às linhas de maior potencial. É óbvio que a melhoria desse fator deve se apoiar numa análise mais direta das características das duas empresas, através de visitas e levantamento de dados adicionais.

Outra forma complementar de efetuar o *benchmarking* é utilizar o modelo DEA apresentado na seção 7.3.1, a saber:

$$x'_{iE} = \theta_E^* x_{iE} - s_{iE}^- \quad , \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (80)$$

$$y'_{jE} = y_{jE} + s_{jE}^+ \quad , \quad j = 1, 2, \dots, S \quad (81)$$

Aplicando o software EMS, modelo BCC, obtiveram-se os seguintes resultados:

$$\theta_{127}^* = 0,901$$

$$s_{i,127}^- = 0,85 \text{ para input frota}$$

$$s_{i,127}^- = 64,8 \text{ para input motoristas}$$

$$s_{i,127}^- = 0 \text{ para todos os demais inputs}$$

$$s_{i,127}^+ = 0 \text{ para o output}$$

Aplicando as relações (80 e 81) para os atributos frota e motoristas, obtém-se:

$$FRT' = 0,901 \times FRT - 0,85 = 0,901 \times 679 - 0,85 = 611$$

$$MOT' = 0,901 \times MOT - 64,8 = 0,901 \times 1610 - 64,8 = 1386$$

Esses valores modificados, de frota e de motoristas, levam a um índice motorista/frota igual a 2,27, ou seja, uma redução de 4,2% em relação ao valor anterior. Por outro lado, a redução do número de ônibus, mantendo a quilometragem anual, aumentaria o PMA de 121.092 km, para 134.568 km, um aumento de 11,1%.

7.4.2 Benchmarking da empresa Catarinense

Trata-se de uma empresa média, a décima do ranking em termos de produção, apresentando um total de passageiros-quilômetros cerca de 16% do movimento apresentado pela primeira colocada, a Viação Itapemirim.

A eficiência técnica da empresa Catarinense é baixa, da ordem de 48,2%. A eficiência de escala, por sua vez, é elevada, na faixa de 84,8%.

Para o *benchmarking* dessa empresa, o modelo DEA apontou as empresas nº 15, Viação Itapemirim, e nº 248, Santa Rita.

A TABELA 11 mostra, de forma comparativa, as principais características das três empresas.

TABELA 11 – Quadro comparativo para *benchmarking* da empresa Catarinense.

Atributo	Empresa a ser analisada	Empresa referência p/ <i>benchmarking</i>	Empresa que não é referência p/ <i>benchmarking</i>
Discriminação da empresa	45 – Catarinense	15 – Itapemirim	248 – Santa Rita
Índices de Eficiência			
Eficiência Total (%)	40,9	100,0	1,1
Eficiência Técnica (%)	48,2	100,0	100,0
Eficiência de Escala (%)	84,8	100,0	1,1
Características Gerais			
Produção anual (PKM)	560.008.922	3.485.091.922	1.225.908
Passageiros transportados (PAX)	2.169.012	3.216.436	22.293
Frota de ônibus	321	1.146	7
Nº de motoristas	551	2.384	4
Nº de linhas	60	230	3
Nº de viagens	63.084	117.962	5.110
Idade média da frota (anos)	3	10	10
Quilômetros percorridos pela frota	25.216.781	135.510.753	519.322
Índices Técnicos			
PMA (km)	78.557	118.247	74.189
IAP (%)	48,4	55,9	5,1
Motoristas/ônibus	1,72	2,08	0,57
Extensão média de uma viagem de ônibus (km) - XONB	399,7	1.148,8	101.6

TABELA 11 – Quadro comparativo para *benchmarking* da empresa Catarinense –
Continuação.

Atributo	Empresa a ser analisada	Empresa referência p/ <i>benchmarking</i>	Empresa que não é referência p/ <i>benchmarking</i>
Discriminação da empresa	45 – Catarinense	15 - Itapemirim	248 – Santa Rita
Índices Técnicos – Continuação			
Extensão média da viagem de um passageiro (km) - XPAX	258,6	1.083,5	55,0
XPAX / XONB	0,647	0,943	0,54
Freqüência média semanal de todas as linhas da empresa	20,2	9,9	32,8

Inicialmente é preciso tecer algumas considerações sobre a empresa 248, Santa Rita, observa-se que ela apresenta uma eficiência de escala muito baixa, de 1,1%, apesar de ter sido considerada uma DMU tecnicamente eficiente pelo DEA. Os pontos aparentemente fortes dessa empresa são:

- a) A relação motorista/frota muito baixa, igual a 0,57, o que indica que parte da frota permanece ociosa;
- b) O índice IAP é muito baixo, igual a 5,1%, indicando uma situação nitidamente atípica;
- c) A freqüência média semanal de viagens de cerca de 32,8%, bastante superior ao apresentado pelas empresas Catarinense e Itapemirim.

Em termos do DEA, a avaliação considera em termos estritamente matemáticos os valores dos inputs e outputs, levando, neste caso, a uma conclusão nitidamente errônea. Muito provavelmente a empresa Santa Rita utiliza sua frota noutras atividades (talvez turismo, o que distorce a análise).

Por outro lado, por ser muito pequena, a empresa Santa Rita poderia ser considerada um *outlier*. Como resultado desta análise, a empresa 248 – Santa Rita, não foi considerada como par eficiente para o *benchmarking* da empresa Catarinense. Somente a empresa 15, Itapemirim, foi utilizada para tal.

Os seguintes pontos, com relação aos índices técnicos, podem ser observados:

- a) No que se refere ao índice IAP, à empresa Itapemirim apresenta valor 11,5% mais expressivo do que o IAP da empresa Catarinense. Isso indica que a empresa Catarinense deverá se esforçar para atrair passageiros que utilizem mais plenamente a extensão das linhas, reduzindo bastante o tráfego de extensão fracionária. Por exemplo, na linha nobre Florianópolis – Curitiba, há uma parada em Joinville em diversas freqüências, com grande número de passageiros fazendo os percursos Florianópolis – Joinville e Joinville – Curitiba. Isso leva a uma subutilização da frota. Esse efeito pode ser visto através da relação entre a distância média percorrida pelo passageiro e a distância média percorrida pelo ônibus (índice $XPAX / XONB$, na TABELA 11). Na empresa Itapemirim se observa um índice $XPAX / XONB$ igual a 0,943, enquanto a Catarinense apresenta um valor de 0,647. Assim, a primeira conclusão que se pode extrair desta análise comparativa é que a empresa Catarinense deve se esforçar para conquistar passageiros com maior utilização das distâncias percorridas nas viagens. Para atingir o nível da Itapemirim, a Catarinense precisaria aumentar esse índice em 45%.
- b) O segundo elemento a considerar é o PMA. A empresa Itapemirim apresenta um PMA médio de 118.247 km por ônibus, por ano, enquanto a Catarinense mostra um valor de 78.557 km por ônibus, por ano, cerca de 33,5% inferior ao primeiro. Uma razão para isso é a extensão média das viagens da empresa Catarinense, cerca de 400 km, enquanto a Itapemirim apresenta distância média de viagem em torno de 1.150 km. Ou seja, para utilizar melhor sua frota, a Catarinense deveria cobrir linhas de maiores extensões.
- c) A utilização dos resultados do modelo DEA para extrapolar a DMU não eficiente para a envoltória de máxima eficiência deve ser evitada no caso de a DMU estar localizada longe da fronteira. No caso da Catarinense, a eficiência técnica é de

apenas 48%, não justificando a extrapolação, que poderia dar resultados práticos errôneos ou inconsistentes.

7.4.3 Comentários

Deve-se frisar que o método DEA ajuda bastante no processo de *benchmarking*, mas não é completo. A aplicação dos resultados do método DEA no *benchmarking* de DMUs não eficientes deve ser encarada tão somente como uma das etapas do processo.

Realmente, a Análise Envoltória de Dados pode servir de excelente apoio nesse processo. Mas, por ser um método matemático, que incorpora apenas parte das variáveis necessárias a esse tipo de investigação, ela não deve ser vista como um processo auto-suficiente. Ao contrário, deve estar associada aos procedimentos usuais de *benchmarking*, complementando-os.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 Conclusões

O transporte rodoviário interestadual de passageiros, no Brasil, é um serviço público essencial, responsável por uma movimentação superior a 140 milhões de usuários/ano. Sua participação na economia brasileira é expressiva, assumindo um faturamento anual superior a R\$ 2,5 bilhões na prestação dos serviços regulares realizados pelas empresas permissionárias, onde são utilizados 13.400 ônibus.

Desse modo, a avaliação da eficiência e da produtividade destas empresas, realizada neste trabalho, serve de base inicial para a criação de novas estratégias de gerenciamento dos insumos utilizados, assim como direciona o processo decisório para as melhores tendências desse setor de transporte.

Quanto à metodologia de análise proposta neste trabalho, composta pelas técnicas de Análise Envoltória de Dados e *Benchmarking*, é um importante instrumento para a revisão de políticas e ações organizacionais, visando à superação das deficiências encontradas.

Os resultados encontrados neste estudo apontam na direção da existência de ganhos de escala, tanto para as empresas eficientes como para aquelas consideradas ineficientes. Outro aspecto importante é que as empresas pequenas não apresentam valores de eficiência técnica substantivamente menores do que as empresas de médio e grande porte. No entanto, existe uma grande diferença na eficiência de escala, quase cinco vezes mais para as empresas de médio e grande porte, comparada com a eficiência de escala das empresas pequenas.

Outro aspecto importante no desempenho das empresas pequenas é o ganho de escopo, por se dedicarem intensivamente ao turismo, principalmente nos fins de semana. Empresas maiores, por outro lado, conjugam o transporte interestadual com o

transporte intra-estadual, esse último controlados por órgãos estaduais. Há assim ganhos de escopo adicionais expressivos.

Do ponto de vista da eficiência, a Viação Itapemirim é a única empresa da amostra que é plenamente eficiente, e por se apresentar bastante diferenciada das demais em termos de produção, é quase um outlier na amostra. Ou seja, apesar de ser a mais eficiente, não tem muitas características em comum com as demais em termos produtivos. Não obstante, deve servir de referência futura para as unidades não eficientes de maior porte, pois essas são as que apresentam maiores possibilidades de crescimento e de aumento da produtividade.

Analisando o exemplo de *Benchmarking* referente à empresa Cia. São Geraldo de Viação chega-se as seguintes conclusões: a empresa deve se esforçar para conquistar passageiros de percursos relativamente maiores nas suas linhas e reestruturar as atividades de seus motoristas, procurando melhorar o índice entre o número de motoristas e o número de ônibus na frota, assim como, aumentar o número médio de freqüências semanais por linha.

Da mesma forma, analisando exemplo de *Benchmarking* referente a empresa Auto Viação Catarinense Ltda, também chega-se a conclusão de que a empresa deve se esforçar para conquistar passageiros de percursos relativamente maiores nas suas linhas. Outro ponto observado é o percurso médio anual, cerca de 33,5% inferior ao da Itapemirim. Uma razão para isso é a extensão média das viagens da empresa, que é de cerca de 400 km, ou seja, para utilizar melhor sua frota, a empresa deveria cobrir linhas de maiores extensões.

Alguns resultados importantes foram obtidos nesta dissertação. Os dois objetivos propostos neste trabalho foram atingidos. Utilizando a Análise Envoltória de Dados, através da programação linear, chegou-se à definição do desempenho das empresas, à identificação das firmas eficientes e ineficientes, como também a realização do *Benchmarking* de duas empresas ineficientes.

8.2 Recomendações

Devido à flexibilidade das técnicas utilizadas neste estudo, essas são indicadas enquanto ferramentas matemáticas para o estudo da produtividade e da eficiência, podendo ser incorporadas a outras teorias e técnicas que tenham como objetivo o aprofundamento de estudos desta natureza, e como forma de acompanhar a evolução sócio-econômica do País.

Sugere-se, que este tipo de avaliação seja realizado noutros trabalhos, incorporando-se variáveis como índices de preços ao consumidor, gastos com propaganda, etc, visto que estas variáveis têm grande influência na obtenção de uma melhor produtividade.

Uma das limitações deste trabalho foi a realização de uma avaliação restrita à amostra das empresas da lista da ANTT, visto que não existe uma fonte que forneça informações dos operadores ilegais, que até por serem ilegais, não estão dispostos a informar dados a um estudo desta categoria.

Outra limitação deste trabalho foi considerar todas as regiões do País de forma igual e por isso recomendam-se também para outros trabalhos, que sejam incorporados elementos próprios de cada região do País, para aprofundamento da pesquisa e sendo aconselhável realizar visitas para levantar in loco as características locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFUSO, L.; ANGERIZ, A. e POLLITT, M.G. Measuring the Efficiency of Britain's Privatised Train Operating Companies, **Regulation Initiative Discussion Paper Series**, n. 48, London Business School, 2002.

AIGNER, D.J.; CAK Lovell e SCHMIDT, P. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Functions, **Journal of Econometrics**, n. 6, p. 21-37.1977.

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anuário Estatístico 2007 – Ano Base 2006**. Disponível em: <www.antt.gov.br/passageiro/anuarios/anuario2007/default.htm>. Acesso em: 12 set. 2007.

ARAGÃO, J.J.; BRASILEIRO, A.; LIMA NETO, O.; SANTOS E. e ORRICO Fº, R. Construindo Modelos de Relações Institucionais e Regulatórias no Transporte Público Urbano: Algumas Considerações Metodológicas, **Transportes em Tempos de Reforma: Ensaio sobre a Problemática**, Brasília: LGE Editora, 2000. p. 53-76.

ASENSIO, J. e TRIHLAS, F. Productive Efficiency Measurement and Regulatory Reform in Spanish Suburban Railways. **Third Conference on Railroad Industry Structure, Competition and Investment**. Stockholm, 2005.

AZAMBUJA, A.M.V. **Análise de Eficiência na Gestão do Transporte Urbano por Ônibus em Municípios Brasileiros**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BANKER, R.D.; CHARNES, A. e COOPER, W.W. **Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis**, *Management Science*, 1984. n. 30, p.1078-1092.

BANKER, R.D. e JOHNSTON, H.H. Evaluating the Impacts of Operating Strategies on Efficiency in the US Airline Industry, in Charnes et al., **Data Envelopment Analysis; Theory, Methodology, and Application**. Kluwer Academic, Boston. 1994. p. 129-144.

BENJAMIN, Julian e OBENG, Kofi. **The effect of policy and background variables on total factor productivity for public transit.** *Transportation Research*, Great Britain, 1990. v. 24B, n. 1, p. 1-14.

BERECHMAN, J. Costs, Economies of Scale and Factor Demand in Bus Transportation: an Analysis. **Journal of Transport Economics and Policy**, n.17, p. 7-24. 1983.

_____. **Public Transit Economics and Deregulation Policy**, Amsterdam: North Holland. 1993.

BORGER, B.L. Cost and Productivity in Regional Bus Transportation: the Belgian Case. **The Journal of Industrial Economics**, n. 23, p.37-54. 1984.

BOUSSOFIANE, A.; DYSON, R.G. e THANASSOULIS, E. Applied Data Envelopment Analysis, **European Journal of Operational Research**, n. 52, p.1-15. 1991.

BRASILEIRO, A. e ARAGÃO, J. “**Agências regulatórias: que contribuição do (ao) setor de transporte no Brasil**”. Transporte em Tempos de Reforma. LGE Editora, Brasília. 2000.

BRASILEIRO, A.; SANTOS, E.M.; ARAGÃO, J.J.G.; SILVA, A.J.T. “**Agências regulatórias e organismos de tutela nacionais: o transporte interestadual de passageiros no Brasil**” Em: Anais Eletrônicos do XI Congresso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano, CLATPU, La Habana. 2001.

CAMPOS, J. e CANTOS, P. **Rail Transport Regulation**. Economic Development Institute. The World Bank, Washington, DC. 1999.

CASTRO, N. Os Desafios da Regulação do Setor de Transportes no Brasil. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro. 2000.

_____. **Transporte Rodoviário de Passageiros: Estrutura, Desempenho e Desafios Regulatórios**. Faculdade de Administração da UFRJ. 2003.

CAVES, D.W.; CHISTENSEN, L.R. e SWANSON, J.A. "Productivity Growth, Scale Economics, and Capacity Utilization in US Railwards", **The American Economic Review**, dez. 1981.

CAMP, R. C. "**Benchmarking: identificando, analisando e adaptando as melhores práticas da administração que levam à maximização da performace empresarial: o caminho da qualidade total**" / Robert C. Camp 1935; tradução: Nivaldo Montigelli Junior. São Paulo: Pioneira, 1993. cap. 1 e 2.

CHARNES, A.; COOPER, W.W. e RHODES, E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. **European Journal of Operational Research**, n. 2-6, p. 429-444. 1978.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; WEI, Q.L. e HUANG, Z.M.. Cone Ratio Data Envelopment Analysis and Multiobjective Programming. **International Journal of Management Science**, n. 20 (7), p. 1099-1118. 1989.

CHISTENSEN, L.R.; JORGENSON, D.W. e LAW, L.J. **Transcendental Logarithmic Production Frontiers**, *The Review of Economics and Statistics*, n. 55, p. 28-45. 1973.

CHU, X.; FIELDING, G.J. e LAMAR, B.W. Measuring Transit Performance Using Data Envelopment Analysis, **Transportation Research A**, v. 26A, p. 223-230. 1992.

COELLI, T.; RAO, D.S.; e BATTESE, G.E. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. Kluwer Academic, Boston. 1998.

COOK, W.D.; KAZAKOV, A. e ROLL, Y. On the Measurement and Monitoring of Relative Efficiency of Highway Maintenance. **Data Envelopment Analysis; Theory, Methodology, and Application**. Kluwer Academic, Boston. p. 195-210. 1994.

COOPER, W.W.; SEIFORD, L. M. e TONE, K. **Data Envelopment Analysis**. Kluwer Academic, Boston. 2000.

COWIE, J. e ASENOVA, D. **Organisation, Form, Scale Effects and Efficiency in the British Bus Industry Transportation**. *Great Britian*. n. 26, p. 231-248. 1999.

- DANTAS FILHO, N.M. **Rotação de tripulação em transporte rodoviário por ônibus.** Tese de Mestrado. Universidade Federal de Rio de Janeiro – COPPE. Rio de Janeiro. 1995.
- DEWERT, W.E.; TURNMEN-RED, A.H. e WOODLAND, A.D. Productivity and Pareto Improving Changes in Taxes and Tariffs. **The Review of Economic Studies**, n. 56, p. 199-215. 1989.
- DYSON, R.G. e THANASSOULIS, E. Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis. **Journal of the Operational Research Society**, n. 39, p. 563-576. 1988.
- FARE, R.; GROSSKOPF, S. e KOKKELEMBERG, E.C. **Measuring Plant Capacity, Utilization and Technical Change: A Nonparametric Approach.** International Economic Review, n. 30, p. 655-666. 1989.
- FARREL, M. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society.** Great Britian. v. 120A, p. 253-281. 1957.
- FORSUND, F.R. e HEMAES, E. Comparative Analysis of Ferry Transport in Norway, in Charnes et al., **Data Envelopment Analysis; Theory, Methodology, and Application.** Kluwer Academic, Boston. p. 285-311. 1994.
- GOLANY, B. e ROLL, Y. **An Application Procedure for DEA.** Omega, n. 17, p. 237-250. 1989.
- _____. **Alternate Methods of Treating Factor Weights in DEA.** Omega, n. 21, p. 99-109. 1993.
- GONÇALVES, M.B.; BEZ, E.T. e NOVAES, A.G. Modelos Econométricos Aplicados à Previsão da Demanda por Transporte Interestadual de Passageiros por Ônibus no Brasil. **Revista Transportes - ANPET**, v. XV, n.1, p. 24-33. 2007.
- GREENE, William H. The econometric approach to efficiency analysis. In: FREID, Harold O., LOVELL, C. A. Knox, SCHMICT, Shelton S. **The Measurement of Productive Efficiency – Techniques and Aplicatinos.** Oxford, 1993. 423p. p. 68-119.

- GUIMARÃES, E.A. e SALGADO, L.H. **A Regulação no Transporte Rodoviário Brasileiro**, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro. 2003.
- HINTON M.; FRANCIS G. e HOLLOWAY J. Best practice benchmarking in the UK. Benchmarking: An International Journal. **The Emerald Research Register Journal**, v. 7, n. 1, pp. 52-61. 2000.
- HOMBURG, Carsten. Using data envelopment analysis to benchmark activities. **International Journal Production Economics**, n. 73, p. 51–58. 2001.
- HUSAIN, N.; ABDULLAH, M. e KUMAN, S. Evaluating Public Sector Efficiency with Data Envelopment Analysis (DEA): A case Study in Road Transport Department, Selangor, Malaysia. **Total Quality Management**, n. 11, p. S830-S836. 2000.
- JANSSON, J.O. **Transport System Optimization and Pricing**. Pitman Press, Bath. 1984.
- JARA-DIAZ, S.R. Transportation Product, Transportation Function and Cost Functions, **Transportation Science**, n. 16, p. 522-539. 1982.
- KIM, M. Total Factor Productivity in Bus Transport. **Journal of Transport Economics and Policy**, v. XIX (2), p. 173-182. 1985.
- KOUZMIN, A.; LOËFFLER E.; KLAGES H. e KORAC-KAKABADSE N. Benchmarking and performance measurement in public sectors. Towards learning for agency effectiveness. **The International Journal of Public Sector Management**, v. 12, n. 2, p. 121-144. 1999.
- KYRO, Paula. Revising the concept and forms of benchmarking. Benchmarking: An International Journal. **The Emerald Research Register Journal**, v. 10, n. 3, p. 210-225. 2003.
- LOVELL, C. A. Knox. Production frontiers and productive efficiency. In: FRIED Harold O., LOVELL, C. A. Knox, SCIMIDT, Shelton S. **The Measurement of Productive Efficiency – Techniques and Aplicatinos**. Oxford, 1993, 423p. p. 3-67.

LEWIN, A.Y. e SEIFORD, L.M. Extending the Frontiers of Data Envelopment Analysis. **Annals of Operations Research**, n. 73, p. 1-11. 1997.

MANSFIELD, E. Basic Research and Productivity Increase in Manufacturing, **The American Economic Review**, v. 70, n. 5, p. 863-873. 1980.

MOHAMED, Sherif. Benchmarking and improving construction productivity. **Benchmarking for Quality Management & Technology**, v. 3, n. 3, p. 50-58. 1996.

MOREIRA, D.A. **Medida da Produtividade na Empresa Moderna**. Pioneira, São Paulo. 1991.

NOVAES, A.G. **Benchmarking Rapid-Transit Services with Data Envelopment Analysis, Transactions**, VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Santiago, Chile. 1997. p. 175-187.

_____. Rapid-Transit Efficiency Analysis with the Assurance-Region DEA Method. **Pesquisa Operacional**, 2001. n. 21 (2), p. 179-197.

_____. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Elsevier-Campus, Rio de Janeiro, 3ª edição. 2007.

ODECK, J. e HJALMARSSON, L. The Performance of Trucks – an Evaluation Using Data Envelopment Analysis. **Transportation Planning and Technology**, n. 20, p. 49-66. 1996.

OUM, T.; TRETHERWAY, M. e WATERS, W.G. Concepts, Methods and Purposes of Productivity Measurement in Transportation. **Transportation Research A**, v. 26A (6), p. 493-505. 1992.

PAIVA, Jr, H. e LIMA Jr, O.F. **Avaliação de Desempenho de Sistemas e Serviços de Transportes Utilizando a Abordagem Integrada DEA/AHP**. Anais, XIII ANPET, p. 288-299. 1999.

PEARSON, Kate. Data envelopment analysis: an explanation. **Bureaus of Industry Economics (Working Paper)**, Caberra, n. 83, p. 1-44, 1993.

PEDRAJA-CHAPARRO, F.; SALINAS-JIMENEZ, J. e SMITH, P. On the Role of Weight Restrictions in Data Envelopment Analysis. **Journal of Productivity Analysis**, n. 8, p. 215-230. 1997.

PODINOVSKI, V.V. e ATHANASSOPOULOS, A.D. Assessing the Relative Efficiency of Decision Making Units Using DEA models with Weight Restrictions, **Journal of the Operational Research Society**. n. 49, p. 500-508. 1998.

PRADO, M.V. **Data Warehouse para Apoio à Gestão da Operação em Empresas de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF. 2006.

ROLL, Y.; COOK, W.D. e GOLANY, B. Controlling Factor Weights in Data Envelopment Analysis. **IIE Transactions**, v. 23, n. 1, p. 2-9. 1991.

ROSS, A. e DROGE, C. An integrated benchmarking approach to distribution center performance using DEA modeling. **Journal of Operations Management**, n. 20, p. 19–32. 2002.

ROUSE, P.; PUTTERIL, M. e RYAN, D. Towards a General Managerial Framework for Performance Measurement: A Comprehensive Highway Maintenance Application, **Journal of Productivity Analysis**, n. 8, p. 127-149. 1997.

SANTOS, E. e ORRICO Fº, R.D. Public Transport by Vans: Facts, Meanings and Perspectives of its Presence in Brazilian Cities, **VII International Conference on Competition and Ownership in Land Passenger Transport**, Molde, Noruega. 2001.

SEIFORD, L.M. e THRALL, R.M. Recent Developments in DEA. **Journal of Econometrics**, n. 46, p. 7-38. 1990.

SHEPHARD, R.W. **Theory of Cost and Production Functions**. Princeton University Press, Princeton. 1970.

SILVA, E. de la Sota. **Função custo das empresas de transporte rodoviário de carga em rota fixa**. Rio de Janeiro, 1987. Dissertação (mestrado em Engenharia),

COPPE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 1987.

SILVA, E. de la Sota; MONTOYA, C. A. Contreras; CASTRO, N. R. Castro e CONSENZA, C. A. N. Estimación híbrida de funciones de producción/costo para empresas de transporte de pasajeros. **CONGRESO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y URBANO, VIII CLAPTU**, Curitiba, 1996. p. 12.

SMALL, K.A. Using the Revenues from Congestion Pricing, **Transportation**, n. 19 (4), p. 359-381. 1992.

SPADY, R. e FRIEDLAENDER, A.F. **Econometric Estimation of Cost Functions in the Transportation Industries**, Center for Transportation Studies, MIT: Boston. p. 76-13. 1976.

TALLEY, W. e ANDERSON, P.P. Effectiveness and Efficiency in Transit Performance: A Theoretical Perspective. **Transportation Research A**, n. 15A (6), p. 431-436. 1981.

THOMAS, R. R.; BARR, R. S.; CRON, W. L.; SLOCUM J. W. A process for evaluating retail store efficiency: a restricted DEA approach. **International Journal of Research in Marketing**, n. 15, p. 487–503. 1998.

THOMPSON, R.G.; LANGEMEIER, L.N.; LEE, C.T.; LEE, E. e THRALL. R.M. The Role of Multiplier Bounds in Efficiency Analysis with Application to Kansas Farming. **Journal of Econometrics**, n. 46, p. 93-108. 1990.

VITON, P. Consolidations of Scale and Scope in Urban Transit. **Regional Science and Urban Economics**, n. 22, p. 25-49. 1992.

APÊNDICE

TABELA 12 – As informações referentes às demais empresas.

N	COD	Nome da empresa	PKM	PAX	KM	FRT	IDF	MOT	LIN	VIG (mil)
1	1	VIACAO SALUTARIS E TURISMO S/A.	350,99	390,67	11,57	143	5	308	20	12,50
2	3	VIACAO CIDADE DO ACO LTDA	59,50	782,53	3,19	105	7	235	9	20,26
3	4	EXPRESSO BRASILEIRO VIACAO LTDA.	162,82	375,55	8,30	79	5	77	1	18,83
4	5	VIACAO COMETA S/A	806,44	2529,80	36,21	506	4	759	35	81,33
5	15	VIACAO ITAPEMIRIM S/A	3485,09	3216,44	135,51	1146	10	2384	230	117,96
6	23	EMPRESA DE ONIBUS NOSSA SENHORA DA PENHA S/A	527,96	584,19	25,92	234	8	488	68	23,25
7	25	UNIAO TRANSPORTE INTERESTADUAL DE LUXO S/A (UTIL)	437,85	1100,13	19,29	113	1	331	44	43,91
8	30	EMPRESA UNIDA MANSUR & FILHOS LTDA.	40,32	115,66	1,72	31	5	45	10	3,91
9	34	VIACAO ARAGUARINA LTDA	246,96	1319,69	12,11	66	6	222	21	48,88
10	43	LOURIVAL JOSE DA SILVA (AUTO VIACAO PRINCESA DO AGRESTE)	62,54	116,20	5,54	29	10	68	12	7,57
11	45	AUTO VIACAO CATARINENSE LTDA.	561,00	2169,01	25,22	321	3	551	60	63,08
12	46	EMPRESA SANTO ANJO DA GUARDA LTDA.	136,74	431,02	4,34	84	6	68	11	10,74
13	47	TRANSPORTE TURISMO LTDA (TTL)	25,54	34,91	1,49	20	4	25	4	1,55
14	48	EMPRESA UNIAO DE TRANSPORTE LTDA.	11,62	390,70	0,61	64	7	20	2	7,90
15	50	EMPRESA DE TRANSPORTE SANTA TEREZINHA LTDA	14,23	48,33	0,60	17	8	13	3	1,57
16	52	PLUMA CONFORTO E TURISMO S/A	561,19	647,80	41,34	236	8	335	60	39,11
17	54	VIACAO TERESOPOLIS E TURISMO LTDA.	1,05	11,69	0,07	2	9	2	1	0,73
18	55	AUTO VIACAO BRAGANCA LTDA.	58,75	1078,69	3,05	50	3	35	9	36,93
19	59	VIACAO ESTRELA LTDA	10,51	28,01	1,28	21	8	34	3	1,35
20	60	REUNIDAS S/A - TRANSPORTES COLETIVOS	527,47	1906,21	32,52	247	7	502	79	74,84
21	61	EMPRESA SAO CRISTOVAO LTDA.	38,49	112,08	2,13	32	7	45	4	4,81
22	65	BOMFIM - EMPRESA SENHOR DO BOMFIM LTDA.	172,85	590,26	8,08	76	8	91	26	19,55
23	67	VIACAO SAMPAIO LTDA.	35,20	215,42	4,65	49	6	75	18	19,33
24	69	EMPRESA NOSSA SENHORA DE FATIMA LTDA	4,17	29,80	0,61	16	14	10	4	3,22
25	70	TRANSBRASILIANA - TRANSPORTES E TURISMO LTDA.	640,24	1135,62	54,83	295	8	883	106	52,14
26	71	VIACAO GARCIA LTDA.	756,62	1635,87	31,65	313	4	205	58	53,31
27	84	VIACAO NOVO HORIZONTE LTDA.	257,26	254,14	16,65	195	4	373	21	13,72
28	87	RAPIDO MARAJO LTDA.	40,79	34,49	3,23	13	5	30	3	1,77
29	90	EXPRESSO ARAGUARI LTDA	24,17	282,02	1,25	71	13	138	10	10,10
30	92	VIACAO PROGRESSO E TURISMO S/A.	58,57	725,23	2,79	58	6	104	26	21,45
31	98	COLITUR - TRANSPORTES RODOVIARIOS LTDA.	6,29	213,34	0,42	5	4	5	2	10,95
32	107	AUTO VIACAO 1001 LTDA	419,86	1056,23	21,48	234	3	259	35	49,58
33	114	VIACAO SAO CRISTOVAO LTDA.	44,24	85,66	1,87	29	9	35	10	3,29
34	119	VIACAO CAMPO BELO LTDA.	26,78	62,11	1,30	19	6	16	4	3,97
35	125	EXPRESSO PRINCESA DOS CAMPOS S/A	89,37	316,96	4,36	96	6	71	9	8,08
36	127	CIA. SAO GERALDO DE VIACAO	1708,83	1486,33	82,22	679	8	1610	123	56,05
37	130	VIACAO NORDESTE LTDA.	137,68	446,34	6,12	57	12	48	23	18,11
38	133	VIACAO MOTTA LTDA.	538,44	1356,76	25,59	174	9	311	34	29,98
39	134	VIACAO UBERLANDIA LTDA.	12,49	42,49	0,67	8	7	6	1	1,47
40	135	VIACAO NACIONAL S/A	122,56	62,79	6,21	62	8	94	14	2,97
41	158	HELIOS COLETIVOS E CARGAS LTDA.	163,79	357,28	9,67	85	11	136	21	9,65
42	165	UNESUL DE TRANSPORTES LTDA.	513,32	1851,98	26,48	225	5	402	54	46,20
43	170	EMTRAM - EMPRESA DE TRANSPORTES MACAUBENSE LTDA.	215,53	148,12	11,42	159	8	251	21	6,26
44	184	TRANSUL TRANSPORTES COLETIVOS LTDA.	112,04	519,55	4,90	42	8	68	11	16,78
45	193	VIACAO PLANALTO DE CAMPINA GRANDE LTDA.	84,15	36,47	4,69	22	3	52	6	1,75
46	194	VIACAO AGUIA BRANCA S/A	569,12	1738,17	20,41	355	4	393	71	40,76
47	195	VIACAO PERNAMBUCANA TRANSPORTE E TURISMO LTDA.	43,88	305,92	2,43	28	3	32	4	7,14
48	198	EXPRESSO SAO LUIZ LTDA.	143,39	267,66	11,83	77	6	180	15	14,87
49	207	VIACAO NASSER LTDA	99,63	1235,33	7,04	38	1	64	23	40,75
50	208	VIACAO RIO GRANDE LTDA.	10,45	147,56	0,98	9	11	38	4	8,76
51	209	TRANSCOL - TRANSPORTE COLETIVO UBERLANDIA LTDA	37,91	384,77	1,93	34	10	26	5	11,42
52	222	RODOVIARIO E TURISMO SAO JOSE LTDA.	8,09	50,84	0,37	4	12	5	2	2,19
53	236	VIACAO TRANSFRONTEIRA LTDA	8,27	316,36	1,34	15	10	8	4	20,40
54	238	EMPRESA DE TRANSPORTES ANDORINHA S/A	487,58	1267,87	23,77	273	5	313	34	27,44
55	239	EXPRESSO MAIA LTDA.	31,85	51,58	2,40	2	5	80	3	2,89
56	246	EXPRESSO ITAMARATI LTDA	127,12	433,42	5,93	55	6	62	11	10,47
57	248	EMPRESA DE AUTO ONIBUS SANTA RITA LTDA	1,23	22,29	0,52	7	10	4	3	5,11
58	249	EMPRESA GONTIJO DE TRANSPORTES LTDA.	1791,68	2031,53	96,07	961	7	1695	118	74,28
59	250	VIACAO SANTA CRUZ S/A	90,82	818,74	6,56	131	2	42	27	36,10
60	260	EXPRESSO MARINGA LTDA	40,35	164,07	2,41	42	3	36	6	4,31
61	266	SILVA TUR-TRANSPORTES E TURISMO S/A.	4,41	20,36	0,38	12	18	12	2	0,92
62	271	EMPRESA DE TRANSPORTES DA SERRA LTDA	1,02	18,54	0,05	3	14	2	1	0,61
63	272	VIACAO PRETTI LTDA	15,25	357,37	0,71	25	7	14	11	18,51

TABELA 12 – As informações referentes às demais empresas – continuação 1.

N	COD	Nome da empresa	PKM	PAX	KM	FRT	IDF	MOT	LIN	VIG (mil)
64	273	TRANSPEN - TRANSPORTE COLETIVO E ENCOMENDAS LTDA	99,26	482,33	7,55	83	4	159	10	15,38
65	282	CORDEIRO, TRANSPORTE E TURISMO LTDA	5,77	286,48	0,63	4	10	8	3	13,40
66	292	VIACAO OURO E PRATA S/A	123,16	75,16	7,17	28	3	81	5	2,32
67	306	COMERCIO E TRANSPORTES BOA ESPERANCA LTDA	123,80	215,22	10,14	63	5	101	17	7,96
68	312	REAL ALAGOAS DE VIACAO LTDA	114,99	677,62	4,24	28	7	25	10	22,40
69	313	REAL TRANSPORTE E TURISMO S/A	153,34	140,91	10,04	52	8	146	7	4,98
70	315	EXPRESSO VALE DO JAGUARIBE S/A	0,30	2,02	0,02	2	11	2	1	0,05
71	328	TRANSPORTE-TRANSPORTE E TURISMO NORTE DE MINAS LTDA	28,29	45,10	2,83	105	10	62	9	5,28
72	332	VIACAO RIODOCE LTDA	241,34	983,19	13,18	196	7	118	37	32,63
73	335	VIACAO REAL ITA LTDA	19,88	674,56	0,90	24	10	20	5	13,16
74	336	VIACAO SARTORI LTDA	11,57	183,28	0,65	7	7	9	3	5,11
75	342	EMPRESA COLIBRI TRANSPORTES LTDA	50,32	58,41	5,20	14	10	38	5	3,77
76	345	EMPRESA LAPEANA LTDA	17,44	128,84	0,58	7	3	37	3	3,71
77	347	AUTO VIACAO GOIANESIA LTDA	28,97	179,12	1,52	5	6	20	5	5,91
78	351	VIACAO OURO BRANCO S/A	51,46	205,13	1,93	60	4	20	5	5,26
79	355	VIACAO JOIA LTDA	23,36	77,13	2,66	32	6	52	5	4,58
80	356	TUT - TRANSPORTES LTDA	4,29	16,88	0,34	6	7	15	1	0,76
81	359	PLANALTO TRANSPORTES LTDA.	88,69	72,06	9,24	68	6	60	5	3,30
82	360	EXPRESO BRUJULA S.A. DE TRANSP. Y TURISMO	15,98	15,26	0,53	31	14	26	1	0,51
83	361	EXPRESSO ADAMANTINA LTDA	3,39	63,01	0,72	23	8	12	3	2,73
84	362	EXPRESSO SAO JOSE DO TOCANTINS LTDA	14,13	39,43	0,62	10	9	14	6	1,77
85	365	EXPRESSO UNIAO LTDA	101,17	188,47	5,61	70	1	69	26	7,23
86	370	EUCATUR- EMP. UNIAO CASCAVEL DE TRANSPORTES E TURISMO LTDA	442,20	550,07	49,73	332	6	425	51	33,16
87	371	JOAO TUDE TRANSPORTES E TURISMO LTDA.	25,02	180,35	1,37	16	11	12	7	6,45
88	372	VIACAO CONTINENTAL DE TRANSPORTES LTDA	51,89	87,15	2,39	18	8	27	8	3,14
89	375	VIACAO PRESIDENTE LTDA	51,54	556,85	3,08	46	6	43	8	15,67
90	376	TRANSPORTES COLETIVOS SERRA AZUL LTDA	31,43	34,62	2,69	4	6	23	4	2,61
91	377	EMPRESA MOREIRA LTDA.	5,57	25,27	0,86	6	6	18	3	2,56
92	379	FERRE Y GRAU LTDA - "CHILE BUS"	6,18	4,20	0,28	9	5	18	1	0,12
93	380	AUTO VIACAO JARDINENSE LTDA.	1,57	28,62	0,31	6	9	3	2	1,46
94	386	VIACAO GRACIOSA LTDA	8,31	114,42	0,46	28	6	8	4	4,36
95	393	CIRCULAR NOSSA SENHORA APARECIDA LTDA	0,22	53,52	0,07	4	13	3	1	17,59
96	394	EMPRESA CURITIBA CERRO AZUL LTDA	2,15	14,85	0,13	4	4	2	1	0,78
97	396	TURISMAR TRANSPORTES E TURISMO LTDA	5,92	72,97	0,62	9	10	12	3	1,78
98	397	VIACAO PENEDO LTDA	1,09	38,62	0,09	2	10	2	1	1,71
99	402	VIACAO NOVA INTEGRACAO LTDA	150,83	121,41	20,48	40	6	109	16	10,77
100	405	VIACAO CENTRAL BAHIA DE TRANSPORTES LTDA	76,51	85,26	5,66	19	5	32	5	5,24
101	407	VIACAO SERTANEJA LTDA	28,43	178,71	1,24	35	7	16	4	5,45
102	409	SUL SERRA S/A. - TRANSPORTES E TURISMO	0,21	1,53	0,14	3	3	3	1	0,60
103	416	RAPIDO GOIASNORTE LTDA.	0,24	2,47	0,19	3	13	2	1	0,73
104	417	EMPRESA PRINCESA DO IVAI LTDA	23,93	36,94	1,61	26	5	11	6	2,20
105	418	GUERINO SEISCENTO TRANSPORTES LTDA.	9,07	166,81	0,70	11	7	12	2	5,50
106	421	ROTAS DE VIACAO DO TRIANGULO LTDA	122,96	102,43	8,25	26	5	64	5	3,65
107	429	EXPRESSO GUANABARA S/A.	1317,17	1954,37	51,50	255	1	776	66	59,16
108	430	COMPANHIA VIACAO SUL BAHIANO - SULBA.	0,01	0,12	0,00	1	14	1	1	0,01
109	434	COMPANHIA ATUAL DE TRANSPORTES	69,76	82,97	2,86	51	4	27	6	2,80
110	436	EXPRESSO TRIANGULINO LTDA	8,71	154,02	0,54	12	11	8	4	5,42
111	442	BEL - TOUR TURISMO E TRANSPORTES LTDA.	52,23	155,77	3,03	37	5	46	17	7,98
112	448	PARAIBUNA TRANSPORTES S/A.	20,33	117,35	1,55	27	3	8	7	6,17
113	449	VERA CRUZ TRANSPORTE E TURISMO LTDA	12,79	121,65	0,61	20	9	7	5	2,85
114	452	COMETA DEL AMAMBAY S.R.L	10,47	29,35	0,65	16	10	11	2	1,82
115	454	TRANSCONTINENTAL S/A.	6,09	5,36	0,49	3	16	10	2	0,32
116	455	UNELESTE S/A.	1,54	1,65	0,17	2	15	6	1	0,18
117	504	REVELACION S.A. (EMPRESA GENERAL ARTIGAS)	18,48	26,92	1,16	27	7	42	3	1,69
118	506	VALE DO OURO TRANSPORTES COLETIVOS LTDA.	25,70	46,09	2,34	12	8	17	5	3,23
119	512	CANTELLE VIAGENS E TURISMO LTDA	25,69	17,75	1,98	7	2	20	1	0,72
120	513	TURISMO TRES AMIGOS LTDA	1,38	4,80	0,12	38	3	1	1	0,37
121	516	EXPRESSO MARLY LTDA	9,21	32,95	0,44	16	4	8	1	0,54
122	520	COSTA SUL TRANSPORTE E TURISMO LTDA	2,69	76,24	0,18	9	10	6	1	1,91
123	521	VIACAO PASSARO VERDE S/A.	8,53	9,13	0,56	16	1	10	1	0,55
124	527	ROLDTUR TURISMO LTDA	9,66	73,80	0,74	11	12	9	1	2,16
125	535	VIACAO UNIAO SANTA CRUZ LTDA	31,28	47,68	0,96	36	5	23	1	1,15
126	543	EXPRESSO KAIOWA LTDA.	143,85	137,53	8,89	34	4	84	10	5,86
127	545	VIACAO SANTA CLARA LTDA	25,42	390,75	1,67	4	4	13	10	13,80

TABELA 12 – As informações referentes às demais empresas – continuação 2.

N	COD	Nome da empresa	PKM	PAX	KM	FRT	IDF	MOT	LIN	VIG (mil)
128	546	EXPRESSO DO SUL S/A.	154,62	368,18	9,85	44	4	64	6	23,78
129	547	VIATRAN - VIACAO TRANSBRASILIA LTDA.	3,70	9,24	0,54	10	9	6	1	0,73
130	552	VIASUL - AUTO VIACAO VENANCIO AIRES LTDA	26,13	41,67	2,82	11	9	25	3	2,26
131	553	TRANSPORTE TURISMO TIQUIN LTDA.	10,57	16,55	0,55	4	6	8	2	0,72
132	556	ARAGUAIATUR - TRANSPORTES E TURISMO LTDA.	4,57	14,35	0,47	4	5	6	1	0,73
133	557	VIACAO BONI LTDA-ME	2,34	155,03	0,19	5	12	7	1	12,41
134	558	BRISA ONIBUS S/A	27,01	130,70	1,49	6	3	13	8	6,87
135	559	EXPRESSO BRASILEIRO LTDA.	37,10	367,19	4,26	22	3	33	11	13,65
136	560	BRASIL SUL LINHAS RODOVIARIAS LTDA.	97,01	130,56	6,93	28	2	52	13	7,47
137	563	LOPES SUL - LOPES E OLIVEIRA TRANSPORTE E TURISMO LTDA	14,00	10,59	1,10	6	6	16	1	0,37
138	564	AUTO VIACAO SAO JOSE LTDA	5,21	15,78	0,28	5	5	4	3	0,61
139	567	EMPRESA BAREZA TURISMO LTDA	2,76	119,83	0,19	5	17	3	1	2,19
140	579	REALNORTE TRANSPORTES S/A.	4,95	4,58	0,30	3	8	12	1	0,17
141	583	CONSTANTINA TURISMO LTDA	9,95	5,67	0,82	8	5	12	1	0,30