

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DUPLA ÓTICA SOBRE A COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA
ENTRE EMPRESAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

LANIER PETERSON CASTELO BRANCO SAMPAIO

ORIENTADOR: FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO

TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE.TD – 055/11

BRASÍLIA/DF: OUTUBRO - 2011

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DUPLA ÓTICA SOBRE A COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE
EMPRESAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

LANIER PETERSON CASTELO BRANCO SAMPAIO

**TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA ELÉTRICA.**

APROVADA POR:

**Fernando Monteiro de Figueiredo, Doutor (ENE/UnB)
(Orientador)**

**Ivan Marques de Toledo Camargo, Doutor (ENE/UnB)
(Examinador Interno)**

**Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, Doutor (ENE/UnB)
(Examinador Interno)**

**Edmundo Montalvão, Doutor (Senado Federal)
(Examinador Externo)**

**Edvaldo Alves de Santana, Doutor (ANEEL)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA, 17 DE OUTUBRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

SAMPAIO, LANIER PETERSON C. B.

Dupla Ótica sobre a Comparação de Eficiência entre Empresas de Transmissão de Energia Elétrica.[Distrito Federal] 2011.

xiv, 150p., 297 mm (ENE/FT/UnB, Doutor, Engenharia Elétrica, 2011). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Transmissão de energia elétrica

2. Análise de eficiência

3. Método DEA

4. Envoltória sob dupla ótica

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SAMPAIO, LANIER PETERSON C. B. (2011). Dupla Ótica sobre a Comparação de Eficiência entre Empresas de Transmissão de Energia Elétrica. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação , Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 150p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Lanier Peterson Castelo Branco Sampaio.

TÍTULO: Dupla Ótica sobre a Comparação de Eficiência entre Empresas de Transmissão de Energia Elétrica.

GRAU: Doutor

ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Lanier Peterson Castelo Branco Sampaio
Rua 04 sul, lote 10, bloco A, apart. 1003, Águas Claras.
71.937-000 Brasília – DF – Brasil.

À Marina, minha esposa e parceira.
Ao meu filho, Nicolas, futuro engenheiro.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Fernando Monteiro de Figueiredo, inestimável amigo, que mais uma vez me surpreendeu e caminhou comigo além das simples fronteiras desta tese. Meu respeito e minha eterna admiração.

À Marina, minha esposa, que me ajudou a enxergar quem sou, o que posso conseguir e que o limite ainda está longe.

Ao Nicolas, meu filho, talvez quem tenha percebido os efeitos de forma mais rápida, não dispense nenhuma oportunidade de passar um tempo com você.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UnB, somos parceiros e buscamos juntar a teoria com aplicações práticas para transformar e melhorar a realidade ao nosso redor.

Aos meus familiares, uma instituição forte onde é possível sempre recorrer em horas difíceis.

À Eletrobrás Furnas, a expectativa de qualquer esforço é sempre um resultado, por me propor desafios que só uma empresa deste porte poderia fazer.

À Eletrobrás Eletronorte por me receber e acreditar no valor agregado.

RESUMO

DUPLA ÓTICA SOBRE A COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE EMPRESAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Modelos DEA (*Data Envelopment Analysis*) são amplamente utilizados no processo de *benchmarking* de indicadores de produção. O método DEA exige uma série de pré-requisitos relacionados, por exemplo, à quantidade de indicadores e homogeneidade da amostra para seu uso, caso contrário, sua aplicação direta não é recomendada.

O objetivo do trabalho é desenvolver uma metodologia de comparação de eficiência entre unidades de produção, baseada em DEA, para ser aplicada nos casos em que o procedimento envolve um número reduzido de amostras, grande quantidade de indicadores, conjuntos não-homogêneos e interesses conflitantes. Para isto são criados índices onde é possível compactar as informações relevantes de um grupo de indicadores que representam o enfoque econômico, a qualidade do serviço e a posição socioambiental assumida pelas empresas. É proposta a aplicação da Envoltória sob Dupla Ótica (EDO) para obter um conjunto competitivo que identifique a eficiência levando em consideração as diversas perspectivas.

São utilizados dois modelos DEA obtendo uma fronteira normal e uma invertida, onde é calculada a distância entre as mesmas e identificadas as características do conjunto. Inicia-se o processo de retirada das camadas externas mais influentes. O conceito é aplicado de forma inovadora a uma situação real no setor de transmissão de energia elétrica no Brasil.

Os resultados demonstram que o método EDO complementa e valida o método DEA tradicional modelando a imperfeição e o poder do mercado, fornecendo graus de liberdade para negociação e melhoria contínua, contribuindo para auxiliar a manutenção do equilíbrio entre os diversos agentes envolvidos de forma transparente, sem eliminar o incentivo para a redução dos custos operacionais, aumento dos lucros e transferência dos ganhos de eficiência para o consumidor, assegurando a segurança do suprimento de energia elétrica e a qualidade dos serviços. Por fim, é empregada uma adaptação da teoria da Economia da Experiência como proposta para a fase após o DEA, ou seja, as ações de melhoria do desempenho.

ABSTRACT

DOUBLE PERSPECTIVE-DATA ANALYSIS IN THE COMPARISON OF ELECTRICAL ENERGY TRANSMISSION COMPANY EFFICIENCY

DEA models are widely used in the benchmarking process of strategic production indicators. The DEA methodology requires a series of prerequisites related, for example, the number of indicators and homogeneity of the sample for use, otherwise its direct application is not recommended.

The objective of this study is to develop a methodology to compare the efficiency of production units, based on DEA, to be applied in cases where the procedure involves a small number of samples, large number of indicators, non-homogeneous sets and divergent interests. To do this, indexes are created where it is possible to compact the relevant information from a group of indicators that represent economic focus, quality of service and the socio-environmental position assumed by the companies. This paper proposes applying Double Perspective- Data Envelopment Analysis to obtain a competitive set that satisfies the objectives taking into consideration diverse points of view.

Two DEA models are utilized, obtaining a normal and an inverted frontier, where the distance between them is calculated and the characteristics of the set are identified. A process of removing the most influential layers is initiated. The concept is innovatively applied to a real situation in Brazil's electric energy transmission sector.

The results demonstrate that the DP-DEA method complements and validates the traditional DEA approach, modeling the imperfections and market power, providing degrees of freedom for negotiation and continued improvements, contributing to aiding in maintaining the balance among the various agents involved, transparently, without eliminating the incentive to reduce operational costs, while assuring the security of the electric energy supply as well as the quality of services. Finally, an adaptation of the theory of Experimental Economics is employed as a proposal for the phase after DEA, actions for improvement have been taken.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2 - REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1- EFICIÊNCIA , PRODUÇÃO E RETORNO DE ESCALA	7
2.2 – <i>DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i> - DEA	11
2.2.1 – Pré-requisitos para emprego do método DEA	14
2.2.2 – Características, diferenciais e limitações do método DEA.....	15
2.2.3 – Aplicações do método DEA	17
2.2.4 – Modelos matemáticos do método DEA.....	18
2.4.4.1 – Modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) – Retorno Constante de Escala.....	19
2.4.4.2 – Modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper) – Retorno Variável de Escala.....	21
2.2.5 – Orientação do método DEA para insumo ou produto	23
2.2.6 – Trechos lineares da fronteira de eficiência (<i>Slacks</i> ou folgas)	25
2.2.7 – Resolução dos modelos	26
2.3 – SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL	28
2.4- QUALIDADE NO SERVIÇO PÚBLICO DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	32
2.5 – FORMAÇÃO DE ÍNDICES	34
2.6 – SELEÇÃO DE VARIÁVEIS NO DEA	35
2.7- FRONTEIRA INVERTIDA.....	37
2.8 – ENVOLTÓRIA SOB DUPLA ÓTICA – EDO.....	41
3 – METODOLOGIA.....	45
3.1 – DADOS	47
3.2 – FORMAÇÃO DOS ÍNDICES.....	50
3.3 – SELEÇÃO DE VARIÁVEIS	66
3.4 – MÉTODO DEA.....	69
3.4.1 – Definição dos insumos e produtos.....	70
3.4.2 – Comparação da eficiência.....	71
3.4.3 – Aplicação da Envoltória sob dupla ótica	76
4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS	83
5 – CONCLUSÕES	91

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
APÊNDICE A – ECONOMIA DA EXPERIÊNCIA: TEORIA E UMA APLICAÇÃO PRÁTICA NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA	102
APÊNDICE B – DADOS ORIGINAIS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES	114
APÊNDICE C – FREQUÊNCIA E DURAÇÃO DOS DESLIGAMENTOS GERENCIÁVEIS E NÃO-GERENCIÁVEIS.....	115
APÊNDICE D – SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO.....	116
APÊNDICE E – VARIAÇÃO DO IPCA UTILIZADA NA ATUALIZAÇÃO DOS INDICADORES FINANCEIROS.....	118
APÊNDICE F - INDICADORES DO BALANÇO IBASE DAS EMPRESAS	119
APÊNDICE G – CÁLCULO DE CORRELAÇÃO ENTRE INDICADORES	120
APÊNDICE H – PADRÃO DE DURAÇÃO DE DESLIGAMENTO, PADRÃO DE FREQUÊNCIA DE OUTROS DESLIGAMENTOS E FATORES KO E KP DEFINIDOS NA RESOLUÇÃO ANEEL 270/2007	124
APÊNDICE I - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS INDICADORES DE FORMAÇÃO E OS ÍNDICES ID E IS PARA CADA EMPRESA	125
ANEXO 1 – ARTIGO ENVIADO PARA PUBLICAÇÃO.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Definição das possíveis variáveis técnicas e econômicas para uso no método DEA.....	48
Tabela 3.2: Definição das possíveis variáveis sociais e ambientais para uso no método DEA.....	49
Tabela 3.3: Indicadores de intervenção no sistema para formação do índice ID.....	50
Tabela 3.4: Indicadores do balanço Ibase para formação do índice IS.	52
Tabela 3.5: Estatística descritiva das variáveis para o ID.....	54
Tabela 3.6: Estatística descritiva das variáveis para o IS.....	54
Tabela 3.7: Classificação da correlação entre variáveis.....	56
Tabela 3.8: Coeficiente de correlação para os indicadores de formação do índice ID.....	56
Tabela 3.9: Coeficiente de correlação para os indicadores de formação do índice IS.....	56
Tabela 3.10: Indicadores de intervenção no sistema para formação do índice ID após identificação de variáveis ocultas.	57
Tabela 3.11: Estatística descritiva das variáveis para o ID após normalização.....	59
Tabela 3.12: Coeficiente de correlação para os indicadores de formação do índice ID após normalização.....	59
Tabela 3.13: Pesos gerados e índice de disponibilidade.....	61
Tabela 3.14: Pesos gerados e índice de sustentabilidade.....	63
Tabela 3.15: Coeficiente de correlação para o índice ID.....	64
Tabela 3.16: Coeficiente de correlação para o índice IS.....	65
Tabela 3.17: Eficiência média (%) para relação individual entre insumo (PMS) e cada produto.....	66
Tabela 3.18: Alteração no escore de eficiência média (%) do par original de acordo com a inclusão dos demais produtos.....	67
Tabela 3.19: Insumo e produtos para uso no modelo DEA.....	68
Tabela 3.20: Escores de eficiência obtidos para as variáveis da tabela 3.19.....	73
Tabela 3.21: Escores de eficiência composta obtidos para as variáveis da tabela 3.19.....	75
Tabela 3.22: IDRf (%) calculado para os escores de eficiência.....	77
Tabela 3.23: Procedimento EDO empregado.....	79
Tabela 3.24: Escore de eficiência composto normalizado (%) original e após a aplicação do método EDO.....	81

Tabela 3.25: Ocorrência de <i>outlier</i> na variação anual do PMS.....	88
Tabela A.1: Comparativo entre os fatos geradores das mudanças no mercado comum e no Setor Elétrico que levam ao estágio da Economia da Experiência.....	107
Tabela A.2: Resultados práticos no alcance da meta de PMSO.....	110
Tabela A.3: Resultados práticos na execução das rotinas de manutenção.....	110
Tabela A.4: Resultados práticos no aumento da produtividade das equipes.....	111
Tabela A.5: Variação do EVA [®] entre 2007 e 2009 para o caso base.....	112
Tabela B.1: Dados originais para simulação.....	114
Tabela C.1: Frequência e duração desligamentos da amostra.....	115
Tabela E.1: Variação do IPCA utilizado na atualização dos indicadores econômicos.....	118
Tabela F.1: Variáveis utilizadas no cálculo do índice de sustentabilidade.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Equilíbrio entre as partes interessadas do setor elétrico.....	02
Figura 2.1 – Exemplo de retornos à escala de produção.....	10
Figura 2.2 – Função paramétrica e não paramétrica.....	13
Figura 2.3 – Modelos CCR e BCC.....	23
Figura 2.4 – Orientação para insumo e produto.....	24
Figura 2.5 – Função paramétrica e não paramétrica.....	25
Figura 2.6 – Influência das folgas na medida de eficiência.....	26
Figura 2.7 – Tela inicial do SIAD.....	27
Figura 2.8 – Formato arquivo de entrada.....	27
Figura 2.9 – Opções para o método DEA no SIAD.....	28
Figura 2.10 – Dimensões do desenvolvimento sustentável.....	30
Figura 2.11 – Novo padrão de estimativa do valor de uma organização.....	31
Figura 2.12 - Resumo dos indicadores do relatório IBASE.....	32
Figura 2.13 – Qualidade do serviço de transmissão de energia elétrica.....	33
Figura 2.14 – Método I-O exaustivo completo.....	37
Figura 2.15 - Fronteira de eficiência padrão considerando apenas um insumo e um produto.....	38
Figura 2.16 - Fronteira de eficiência invertida considerando apenas um insumo e um produto.....	39
Figura 2.17 - Exemplo gráfico da Envoltória sob Dupla Ótica.....	42
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia aplicada.....	46
Figura 3.2 – Arquivos de entrada do programa SIAD.....	71
Figura 3.3 – Configuração dos atributos para uso no SIAD.....	72
Figura 3.4 – Arquivo de saída do SIAD.....	72
Figura 3.5 – Variação do escore de eficiência de acordo com a variação do IDRf para as DMUs de 1 a 14.....	83
Figura 3.6 – Variação do escore de eficiência de acordo com a variação do IDRf para as DMUs de 15 a 28.....	84
Figura 3.7 - Variação do escore de eficiência de acordo com a variação do IDRf para as DMUs de 29 a 40 e alteração do valor médio de eficiência e do coeficiente de variação...84	
Figura A.1 – Evolução da sociedade econômica.....	103

Figura A.2 – Progressão do Valor Econômico.....	104
Figura A.3 – Relações entre cliente interno e externo e resultados.....	107
Figura A.4 – Variação do EVA [®] em relação a indicadores.....	112
Figura A.5 – Probabilidade de gerenciamento do PMSO extrapolando os resultados para toda a empresa.....	113

LISTA DE ABREVIACÕES

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.
- BCC - Banker, Charnes e Cooper.
- CCR - Charnes, Cooper e Rhodes.
- CRS - *Constant Returns to Scale*
- DEA - *Data Envelopment Analysis*
- DMU - *Decision Making Units*.
- DO – Desligamento Outros.
- DP – Desligamento Programado.
- EDO – Envoltória sob Dupla Ótica.
- EVA[®] - *Economic Value Added*
- FPB – Folha de Pagamento Bruta.
- FT – Função Transmissão.
- IA – Indicadores Ambientais
- IBASE - Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas.
- ID – Índice de Disponibilidade.
- IDRF – Índice de Distância Relativa entre Fronteiras.
- IS – Índice de Suatentabilidade.
- ISE – Indicadores Sociais Externos.
- ISI – Indicadores Sociais Internos.
- LT – Indicador comprimento linha de transmissão.
- MOD – Indicador da quantidade de módulos.
- MVA – Indicador de capacidade de transformação.
- PMS - Pessoal, Material e Serviços.
- PVI – Parcela Variável por Indisponibilidade.
- RAP – Receita Anual Permitida.
- ROL – Receita operacional líquida.
- SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão.
- TR – Indicador da quantidade de transformadores.
- VRS - *Variable Returns to Scale*.

1- INTRODUÇÃO

Dentre as bases do atual modelo do Setor Elétrico no Brasil estão a modicidade tarifária e a segurança do suprimento. A primeira atua como ferramenta de inclusão social, melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento econômico. A segunda age de forma a garantir o fornecimento, a qualidade e a disponibilidade dos serviços de energia elétrica.

Especificamente, sob o ponto de vista organizacional, o setor de transmissão de energia elétrica brasileiro tem múltiplos proprietários, de diferentes tamanhos, naturezas e composições, cada qual buscando atingir seus próprios objetivos empresariais em concordância com a legislação atual. As companhias, de acordo com suas concessões, atuam em regiões demográficas, topográficas e sociais distintas, transformando insumos, por meio de processo de produção específico, em produtos ou serviços que os consumidores adquirem de acordo com a noção da função de utilidade e o valor agregado aos mesmos.

Naturalmente percebe-se que os agentes do setor possuem interesses divergentes, sendo necessário dispositivos para manter a estabilidade e minimizar os riscos de qualquer modelo de relação entre as partes. De acordo com Pedrosa (2005) o cenário pode ser resumido por uma tríade, figura 1.1, com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador, equilibrando os diversos interesses envolvidos: o governo busca atingir o equilíbrio fiscal e geração de renda; o consumidor anseia por sua inclusão social e uma melhor qualidade de vida, tende a desejar energia farta e barata; o investidor quer o retorno do capital empregado nos ativos de longa maturação, maximizando os lucros.

A função do regulador é arquitetar o equilíbrio entre os agentes, protegendo os envolvidos do abuso de poder de mercado, visando à sustentabilidade do setor e à atração de investimentos, fixando uma tarifa justa ao consumidor e estabelecendo para a concessionária uma receita capaz de garantir o equilíbrio econômico-financeiro da concessão.

No Brasil, a revisão tarifária periódica das concessionárias de transmissão constitui o instrumento regulatório mediante o qual se assegura que os ganhos de eficiência empresarial se expressem em modicidade tarifária (menor preço admissível que permite a garantia do fornecimento e a qualidade dos serviços prestados. Uma tarifa que garanta uma oferta de energia maior que a demanda e com qualidade adequada). Na revisão, as tarifas são alteradas, para mais ou para menos, segundo uma metodologia que consiste em analisar as condições de desempenho da concessionária. A qualidade do serviço é acompanhada pela disponibilização dos ativos de transmissão em 100% do tempo.



Figura 1.1 – Equilíbrio entre as partes interessadas do setor elétrico (Pedrosa, 2005, p. 3).

Eficiência, por definição, expressa uma relação ótima entre recursos produzidos e insumos utilizados e influencia diretamente os resultados empresariais, principalmente o lucro. Sobre a definição de lucro utilizada na tese, o mesmo é analisado como um retorno pelo mérito, sendo a justa contrapartida para a eficiência, a excelência administrativa e o empreendedorismo. É uma das razões de existência das empresas. Por meio do lucro é possível gerar riqueza, crescimento econômico e prosperidade geral para a sociedade. O lucro cria empregos, investimentos e novas oportunidades. Empresas sem lucro tendem ao desaparecimento e a coletividade perde com isso.

Como pode ser encontrado em Jamasb and Pollitt (2000) e Mota (2004), existem diversos métodos empregados para comparar eficiência em ambientes regulados (com o uso de

múltiplos índices, quocientes e outros indicadores quantitativos), como, por exemplo, o método *Data Envelopment Analysis* (DEA). O método DEA avalia a eficiência das unidades de produção observadas considerando os múltiplos aspectos que estão envolvidos nas diversas atividades desempenhadas e compara esse desempenho com outras entidades semelhantes. Sua aplicação depende de pré-requisitos, que serão apresentados no capítulo 2.

Atualmente a ANEEL utiliza o método DEA em dois estágios no processo de revisão tarifária. Segundo a ANEEL, o objetivo dos dois estágios é minimizar a influência de fatores que afetam o custo médio da prestação de serviço.

A constituição de referências de eficiência para empresas apresenta-se como um desafio único. Souza (2006) indica que o método DEA normalmente proporciona nos resultados valores de eficiência sem grandes desvios, desde que ocorra a correta definição dos indicadores e que as unidades analisadas pelo método tenham em comum a utilização dos mesmos insumos e produtos, que o grupo seja homogêneo e que as mesmas possuam autonomia na tomada de decisão.

Porém, é possível que uma determinada unidade de produção ou grupo de unidades do conjunto em análise apresente um excelente desempenho, caracterizando alteração no escore das demais e classificando as mesmas como detentoras de baixa eficiência relativa. Neste tipo de ocorrência a distribuição da frequência da eficiência apresenta comportamento assimétrico e com escala não linear.

Para minimizar este efeito nas análises empregando o método DEA, geralmente é realizado um exame visual dos dados utilizados. Outra possibilidade, de acordo com Sousa e Stosic (2005), é a redução do impacto das unidades mais influentes quanto aos escores de eficiência por meio da aplicação de técnicas de identificação de *outliers* (observações fora da curva, desvios em relação ao comportamento médio) ao conjunto de amostra, sendo o efeito avaliado por meio da retirada da referida unidade. Mas, qual o impacto da retirada dessa unidade? É possível que a unidade de produção considerada como *outlier* seja uma oportunidade de melhoria que deva ser pesquisada.

No presente trabalho, adaptando de forma inovadora metodologias consagradas em outras áreas para o Setor Elétrico, propõe-se experimentar avanços e ousar, peregrinando e praticando inferências na busca de maturação na interpretação e utilização dos resultados de um processo de comparação de eficiência.

Redução da dispersão, verificação da adequação de indicadores (sustentabilidade econômica, social e ambiental), uso de novos modelos e validação dos mesmos são limites a serem transpostos nesta tese. O objetivo não é exaurir o tema e propor um processo estático, mas sim contribuir com a evolução do marco regulatório e solidificação das bases do modelo do setor, visando ao ganho global.

A proposta do trabalho é desenvolver uma metodologia baseada em DEA para ser aplicada nos casos em que o procedimento de comparação de eficiência envolve um número reduzido de amostras, uma grande quantidade de indicadores, conjuntos não-homogêneos e interesses conflitantes.

Aplicam-se conceitos de formação de índices, de fronteira invertida e Envoltória sob Dupla Ótica (EDO) para aumentar o poder discricionário do método DEA e modelar as imperfeições, o poder de mercado e as dispersões nos resultados de forma diferenciada na identificação dos custos operacionais eficientes de concessionárias de serviço público, complementando o método DEA tradicional e minimizando o risco de captura do escore de eficiência por qualquer um dos agentes envolvidos. Levam-se em conta indicadores econômicos, técnicos, sociais e ambientais. É proposta ainda, a resposta à pergunta: o que fazer após as empresas conhecerem o escore de sua eficiência? Uma aplicação do conceito de Economia da Experiência, como fator gerador de ganho de eficiência para as empresas abaixo da fronteira. Os efeitos positivos são testados e validados em uma experiência prática.

A EDO se aplica de maneira interessante em situações nas quais existem interesses assimétricos, como ambientes regulados. A finalidade é alcançar um conjunto competitivo, onde não incida disposição em benefício de um dos agentes, atendendo de forma aceitável as divergentes necessidades envolvidas, por meio da variação da distância entre fronteiras.

Dois modelos DEA são utilizados, cada um tendo como escopo atender uma ótica na análise. A metodologia é apresentada por meio de um estudo de caso utilizando o banco de dados do segundo ciclo de revisão tarifária periódica das concessionárias de transmissão de energia elétrica no Brasil e o balanço social das empresas. Os resultados obtidos são analisados e apresentam menor dispersão quando comparados com o método DEA tradicional, indicam maior grau de aplicação prática e tratamento de *outliers*, interpretando os mesmos não apenas como pontos extremos, mas como oportunidades a serem avaliadas dentro de determinadas restrições.

É proposta a utilização da Economia da Experiência como ferramenta para possibilitar a etapa de melhoria do desempenho das unidades (etapa após a comparação de eficiência). Sua aplicação depende do perfil da concessionária e da visão estratégica da mesma.

Para analisar a eficiência das empresas são utilizados dados econômicos, técnicos, sociais e ambientais. A fonte dos dados econômicos e técnicos é o anexo I da Nota Técnica nº 396/2009 – SRE/ANEEL, complementado pelo anexo I da Nota Técnica nº 152/2010 – SRE/ANEEL. A fonte dos dados sociais e ambientais é o balanço Ibase publicado nas páginas das empresas na Internet. São utilizadas combinações de indicadores, criação de índices próprios (aderência de um contingente de medidas) e seleção de variáveis de entrada e saída.

A tese está estruturada em cinco partes. Além desta introdução, têm-se: o Capítulo 2 que apresenta uma revisão teórica do estado da arte das metodologias aplicadas. É especificada a diferença entre os conceitos de eficiência e produtividade, explicam-se os retornos de escala de produção e sua importância. Para o DEA, são expostos conceitos como a origem, as definições, os enfoques, as características, os modelos e usos desse método. É feito um relato sobre a principal terminologia relacionada à sustentabilidade de empresas.

Qualidade no serviço público de transmissão de energia é delimitada. São revisados os requisitos básicos para formação de índices. Técnicas de seleção de variáveis para uso em modelos DEA são discutidas. Os conceitos de fronteira invertida e Envoltória sob Dupla Ótica são detalhados, identificando suas vantagens e principais contribuições. É apresentada a Economia da Experiência, onde o programa lista os seus diferenciais como

pontos obrigatórios para visitar. Apresenta-se também o programa utilizado para resolver o modelo.

O Capítulo 3 propõe a metodologia aplicada e avalia os resultados obtidos. Recorre-se ao uso de um fluxograma para auxiliar na exposição das etapas sugeridas. São desenvolvidos dois índices, respectivamente, para identificar a sustentabilidade e a qualidade do serviço prestado pelas transmissoras. O método de seleção de variáveis é explicitado. O modelo escolhido para o DEA original é apresentado com uso da orientação para insumos. Aplica-se a fronteira invertida para aumentar o poder discricionário deste modelo inicial.

Após o método DEA tradicional, é implementado o uso da Envoltória sob Dupla Ótica nas concessionárias de transmissão. Inicialmente verifica-se a distância entre fronteiras (IDRF) original. São propostos patamares máximos do IDRF para reduzir valores de desvios para um nível razoável. Por meio de uma regra própria os escores de eficiência são ajustados.

No Capítulo 4 é realizada a análise dos resultados.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões.

O apêndice A mostra a teoria da Economia da Experiência e os resultados obtidos na aplicação prática da mesma como ferramenta para melhorar o desempenho operacional de unidades de produção. Com a comparação de eficiência pronta, o próximo passo é propor um tratamento com uma abordagem adequada para cada caso. Emprega-se a teoria da economia da experiência como ferramenta, por meio de uma adaptação do conceito para empresas de energia elétrica, com o foco inicial no cliente interno. Uma aplicação real e seus resultados práticos são discutidos.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

São encontradas neste capítulo definições e conceitos sobre toda a teoria aplicada no trabalho.

2.1- EFICIÊNCIA , PRODUÇÃO E RETORNO DE ESCALA

Vocábulos frequentemente utilizados em áreas especializadas, a diferença entre os conceitos de eficiência e produtividade nem sempre é transparente. No mundo dos negócios é corriqueiro o uso destas expressões sem que se fundamente um sentido prévio do que se procura avaliar. Porém, no ambiente acadêmico, é necessário definir os mesmos e caracterizar seus alicerces.

Para Coelli et al (2005), produtividade é a razão entre os produtos obtidos por determinada unidade e os insumos utilizados. Eficiência é o valor ótimo do quociente anterior, é o valor máximo de produtos obtidos com o mínimo de insumos utilizados. Eficiência relativa é o valor que determinada unidade obtém em relação à unidade que apresenta o valor ótimo. Pode-se verificar que, embora bastante relacionados, eficiência e produtividade representam conceitos diferentes.

Depois dos conceitos, é necessário justificar o mérito e a importância da medição da eficiência e produtividade. Para Fried et al (2008) existem pelo menos três motivos:

- 1 – Explorar inferências para as discrepâncias nos resultados entre empresas, individualizando seus efeitos do cenário operacional;
- 2 – Desenvolvimento micro-econômico associado ao crescimento dos países e conseqüentemente ao desempenho das empresas;
- 3 – São indicadores de sucesso pelos quais as empresas podem ser avaliadas, medindo, comparando, melhorando seus resultados e agregando valor aos acionistas.

No trabalho, um motivo importante para o interesse da medição da eficiência, relacionado ao desempenho das empresas de transmissão de energia elétrica, é a revisão tarifária periódica.

No Brasil, o órgão regulador do setor elétrico é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia sob regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em conformidade com as políticas e diretrizes do Governo.

Dentre os pilares do atual modelo do setor elétrico no Brasil estão a promoção da modicidade tarifária, como ferramenta de inclusão social, melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento econômico, e a segurança do suprimento. As concessionárias de transmissão de energia elétrica disponibilizam seus ativos e em troca recebem uma Receita Anual Permitida (RAP), independente do fluxo de potência. Assim, é necessário alcançar um valor da RAP para as empresas de transmissão que reflita, com a maior veracidade possível, a justa remuneração do investimento inicial e dos custos operacionais, referenciando o alicerce da modicidade tarifária.

Para Sousa et al (2007), não existe consonância acerca das condições para denominação de tarifa módica. Pode-se dizer que as tarifas são módicas quando permitem que a universalidade possa desfrutar do serviço público, não impedindo que os mais pobres tenham acesso. Porém, tarifa módica não significa essencialmente tarifa barata. É o menor preço admissível que permite a garantia do fornecimento e a qualidade dos serviços prestados. Uma tarifa que garanta uma oferta de energia maior que a demanda e com qualidade adequada.

A revisão tarifária periódica das transmissoras constitui o instrumento regulatório mediante o qual se assegura que os ganhos de eficiência empresarial se expressem em modicidade tarifária. Na revisão, as tarifas são alteradas, para mais ou para menos, segundo uma metodologia que consiste em revisar as condições de desempenho da concessionária.

O resultado da revisão é o reposicionamento tarifário, que consiste em calcular a RAP da concessionária compatível com a cobertura de custos operacionais eficientes e com um retorno adequado sobre o capital prudentemente investido. No Brasil, a revisão tarifária

periódica para o setor de transmissão de energia elétrica é realizada a cada quatro anos. Atualmente a ANEEL aplica o método DEA em dois estágios (no primeiro estágio são utilizadas as variáveis tradicionais e no segundo estágio os escores de eficiência são ajustados utilizando as variáveis ambientais e modelos de regressão) para identificar os custos operacionais eficientes (Simar e Wilson, 2000).

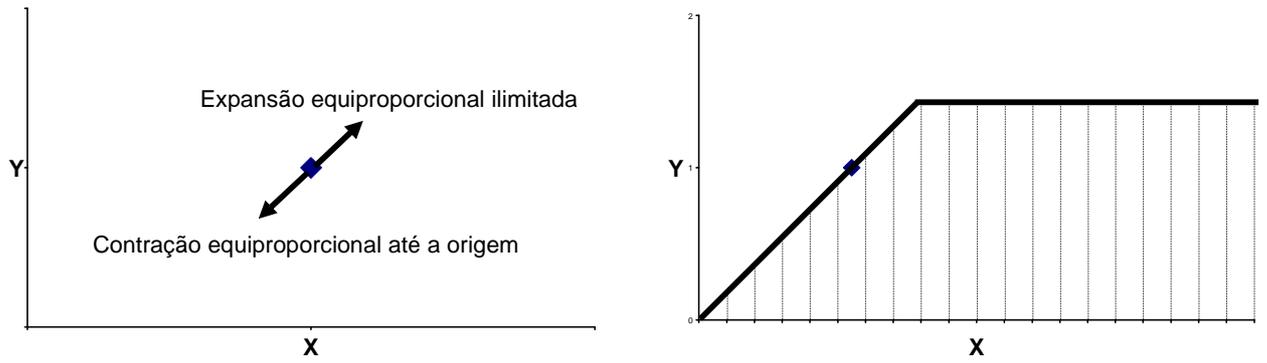
Mesmo que o valor da medida de eficiência para o incremento no desempenho das empresas seja evidente, não existe concordância na escolha do método mais apropriado para sua avaliação, ou quanto à sua profundidade (Einhorn e Hogarth, 1982), ou mesmo quanto ao tipo de interpretação e resultados que deles se possam extrair (Abramovay, 1994). Na edificação de métodos analíticos, não é possível impedir a subjetividade. Uma aproximação construída por meio da participação das diversas partes interessadas garante maior segurança e possibilita abatimento nos graus de arbitrariedade. O método DEA avalia a eficiência comparando unidades reais, possuindo vantagens claras e restrições que são controladas por meio do uso de pré-requisitos para sua aplicação.

No contexto de produção das empresas, as características dos retornos à escala estão relacionadas ao comportamento dos produtos quando os insumos são variados na mesma magnitude. A figura 2.1 apresenta individualmente os tipos de retornos possíveis. O eixo y simula a saída, ou seja, a produção, e o eixo x representa a entrada ou insumo.

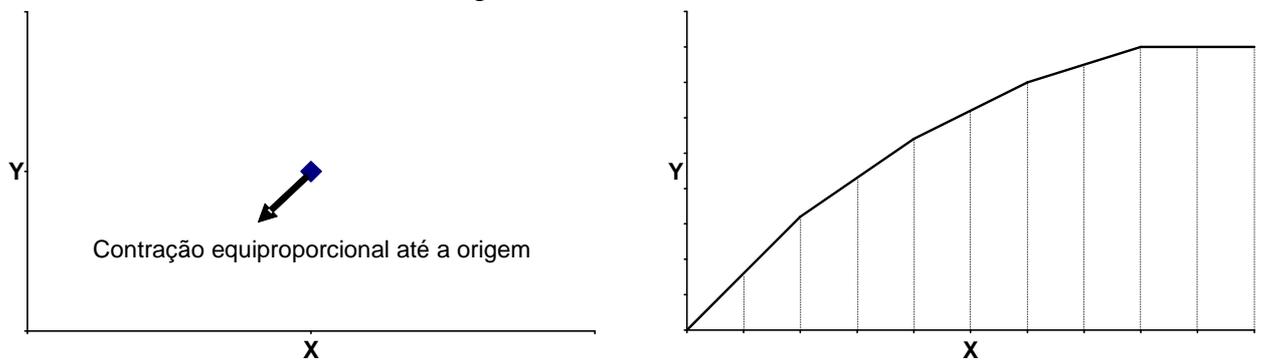
De acordo com Belloni (2000), se a relação insumo *versus* produto, ou seja, o coeficiente de produção é linear, independentemente do porte da unidade em operação, ocorre um retorno constante de escala (RCE) ou *Constant Returns to Scale* (CRS), conforme figura 2.1 (a). No caso de retornos decrescentes de escala, uma variação da quantidade de insumo resulta em uma variação menor na quantidade do produto, figura 2.1 (b). Já para retornos crescentes, uma variação na quantidade do insumo resulta numa variação maior do que a proporcional na quantidade do produto, figura 2.1 (c).

Quando o plano de operação não atende a nenhum dos tipos de retornos anteriores, os retornos variáveis a mudanças na escala (RVE) ou *Variable Returns to Scale* (VRS) ocorrem, sendo que seu contorno é estabelecido pela junção das partes que apresentam localmente características de retornos crescentes, constantes e decrescentes a mudanças na

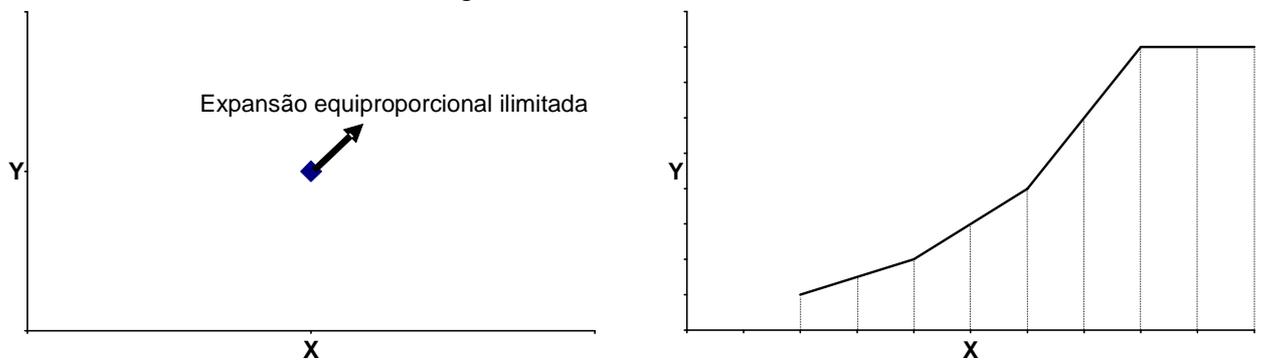
escala de produção, figura 2.1 (d). Neste caso, o coeficiente de produção varia em função do porte das unidades em operação.



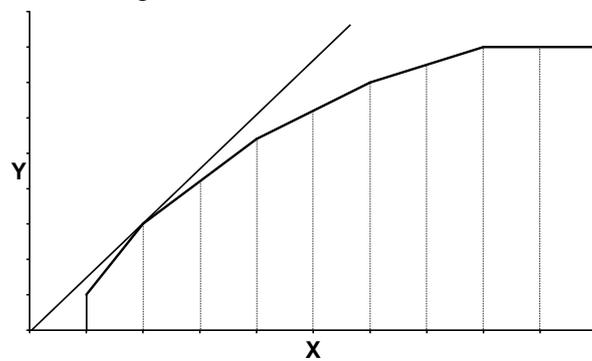
(a) Tecnologia com retornos constantes de escala



(b) Tecnologia com retornos decrescentes de escala



(c) Tecnologia com retornos crescentes de escala



(d) Tecnologia com retornos variáveis de escala

Figura 2.1 – Exemplo de retornos de escala de produção (Belloni, 2000) com adaptações.

A produtividade varia de organização para organização, em função de diferenças na tecnologia de produção utilizada, de diferenças ambientais, de diferenças na eficiência do processo de produção e do tipo de retorno de escala da função de produção. De acordo com Coelli et al. (2005) para as empresas modificarem o tipo de retorno de escala característico da sua função de produção é necessário um tempo longo.

2.2 – DATA ENVELOPMENT ANALYSIS - DEA

De acordo com o texto “*Benchmarking e Boas Práticas*” do Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento de Portugal (IAPMEI), *benchmarking* é um procedimento consecutivo e sistemático que permite a comparação do desempenho das organizações e respectivas funções ou processos em face do que é considerado o melhor nível. Sustenta o processo dinâmico de melhoria, constituindo-se como uma forma de aprendizagem dado que a procura de melhores práticas implica uma análise cuidadosa das diversas formas de implementação dos processos, das metodologias de trabalho e dos diferentes arranjos organizacionais.

O método *Data Envelopment Analysis* – DEA (ou Análise Envoltória de Dados – AED) é um tipo de *benchmarking* avançado. Foi uma das técnicas desenvolvidas para responder a um dos maiores desafios estratégicos do mundo empresarial: medir e comparar sua eficiência relativa.

O método DEA foi implantado na bibliografia em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes, como consequência da tese para obtenção de grau de PhD de Edward Rhodes sob a orientação de W.W.Cooper. Baseando-se nos conceitos de Farrel (1957), acoplaram as estimativas das fronteiras de eficiência e realizaram análises de casos envolvendo relações simples até situações multidimensionais. A ideia do estudo era obter um método para medir a eficiência sem apelar para o uso de pesos determinados a priori para cada variável e sem ter que transformar as variáveis em valores econômicos comparáveis. Primeiramente foi empregado para avaliar a eficiência de escolas públicas. Como saídas foram considerados os resultados matemáticos, a melhoria de auto-estima em testes psicológicos e a habilidade psicomotora. Como entradas, o número de professores e o tempo gasto pela mãe em leituras com o filho.

O modelo inicial aplicado no método DEA, criado por Charnes, Cooper e Rhodes, utilizava retorno constante de escala, ou seja, considerava que todas as unidades comparadas estavam operando na escala ótima de produção. Em 1984, Banker, Charnes e Cooper trocaram os retornos de escala constante por retornos variáveis, desenvolvendo um modelo para o método DEA capaz de comparar unidades operando em escalas de produção diferentes.

Na sequência, a metodologia foi estendida às empresas privadas e hoje o método é flexível e maduro o suficiente para ser aplicado em qualquer sistema que proporcione um grupo de entradas e saídas mensuráveis, independentemente de serem quantitativas ou qualitativas.

O método DEA avalia a eficiência de unidades de produção semelhantes, ponderando os diversos aspectos que estão envolvidos nas diferentes atividades desempenhadas e confere esse desempenho com outras entidades similares. Ou seja, o método DEA fornece a eficiência relativa da unidade de produção em relação ao conjunto, não a eficiência absoluta, permitindo verificar por observação, mas não comparando com o máximo teórico.

O DEA é um método não-paramétrico. Nos métodos não-paramétricos não são feitas hipóteses, a priori, sobre o contorno analítico da função de produção. É estabelecida empiricamente uma função da melhor prática em relação aos insumos e produtos observados. Esta função é linear por partes e, como tal, seria uma aproximação da função correta, se a mesma existisse. Portanto, esta visão delibera padrões reais, cujo comportamento pode ser estudado a partir da observação de cenários concretos. Além disso, admitindo avaliação simultânea de múltiplos insumos e múltiplos produtos, oferece resultados mais completos que os passíveis de serem obtidos por meio de modelos paramétricos (Souza, 2006).

A figura 2.2 (Coelli, 1996) confronta as formas de fronteira entre uma função paramétrica e uma não-paramétrica. Na figura 2.2 (a), a fronteira de eficiência, formada pelos pontos SS' , é uma linha suave que representa a isoquanta da DMU eficiente. Mas para obter esta isoquanta é necessário conhecer, a priori, a função de produção da DMU eficiente. Na prática isto não ocorre e a curva isoquanta é apenas estimada por meio de uma determinada amostra, representada na figura 2.2 (b).

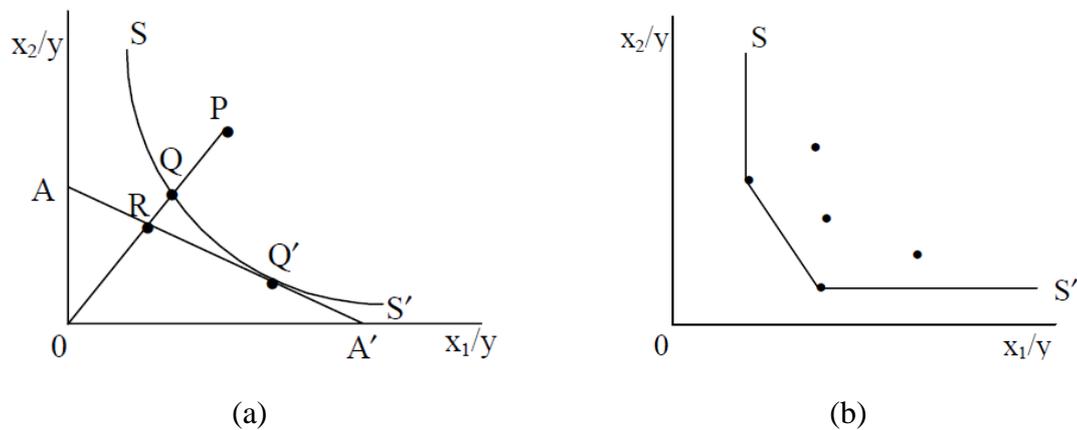


Figura 2.2 – Função paramétrica e não-paramétrica (Coelli, 1996, p. 4).

Em avaliações de eficiência que empregam modelos não-paramétricos, as referências (as melhores unidades na conversão de insumos em produtos, ou seja, as unidades que utilizam a menor quantidade de insumos para gerar a maior quantidade de produtos) são identificadas por meio da borda da fronteira concebida com base nas unidades de máximo desempenho observado. As demais unidades encontram-se abaixo da fronteira e o valor de sua eficiência é expresso em relação às referências.

O método DEA é empregado para definir a fronteira de produção e medir a eficiência relativa no emprego de insumos para obtenção de dados produtos. Tem como escopo identificar, dentro de inúmeras soluções possíveis, aquela que apresenta a melhor relação insumo *versus* produto, adotando-a como referência para definir as metas de produção das demais. Após a aplicação do DEA, todas as unidades observadas farão parte ou estarão abaixo da fronteira obtida. No método DEA as unidades de produção são consideradas como DMUs (*Decision Making Units*, Unidades de Tomada de Decisão), sendo que cada DMU é uma entidade responsável em converter insumos em produtos (Miranda, 2008).

As características verificadas em cada DMU sugerem capacidades e condições de contorno que moldam seus desempenhos, entendendo-se que, contornadas as restrições e apontadas formas mais adequadas para combinação dos recursos, os resultados podem ser

incrementados, até o limite imposto pela linha de fronteira eficiente, que descreve de forma robusta a fronteira de ótimos.

2.2.1 – Pré-requisitos para emprego do método DEA

De acordo com a literatura, para aplicação do método DEA no processo de comparação de eficiência de um conjunto de unidades de produção é necessário seguir determinados pré-requisitos. Os pré-requisitos garantem que a fronteira de eficiência estimada seja robusta e alcance o objetivo de identificar corretamente as unidades de referência.

O primeiro pré-requisito é que os insumos e produtos utilizados para comparação de eficiência devem ser expressos em valores não-negativos. Charnes, Cooper and Trall (1991) demonstraram que esta condição pode ser contornada. Na prática, todos os trabalhos empregam indicadores não-negativos.

Para a quantidade de DMUs, como regra geral, é aceito que no mínimo três DMUs são imprescindíveis para cada relação insumo e produto utilizada na análise. Esta restrição serve para que sejam garantidos graus de liberdade aceitáveis para efetuar a análise. Se um número menor que o indicado pelo critério é utilizado, corre-se o risco de um número excessivo de unidades serem consideradas eficientes, pois a definição da fronteira fica mais difícil, agregando um grande número de DMUs na sua superfície. Posteriormente será definida a técnica da fronteira invertida que aumentará o poder discriminatório do DEA (Azambuja, 2002).

Para garantir a existência do pré-requisito anterior é indicada uma etapa para seleção dos indicadores representativos dos insumos e produtos. A triagem correta é importante para a efetiva interpretação, uso e validação dos resultados apresentados pelo método. Para seleção de indicadores, é necessário ponderar alguns princípios: os mesmos devem ser baseados em dados corretos, na opinião de pessoas com experiência e conhecimento reconhecidos no tema, em inferência estatística, no discernimento de dominância e correlação. A concepção de índices pode juntar a massa de dados ou mesclar as técnicas descritas acima. Os dados devem refletir facilmente as atividades da organização e ter significado operacional. É sugerido que a escolha de indicadores parta de um conjunto

significativo de opções, sendo que os mesmos são depurados por meio de técnicas de seleção de variáveis (Babbie, 2001).

Outro pré-requisito para aplicação do DEA requer que as DMUs apresentem a propriedade da homogeneidade. As unidades de produção devem realizar atividades semelhantes, devem possuir autonomia no processo de decisão, devem produzir em ambientes semelhantes, devem trabalhar nas mesmas condições de mercado e devem ter acesso aos mesmos insumos, diferenciando-se apenas pela quantidade de insumos consumidos e produtos gerados (Souza, 2006).

Comparar um conjunto de unidades de produção heterogêneas é uma falha básica no uso do DEA. Neste caso, por exemplo, unidades podem ser identificadas como menos eficientes apenas pelo fato de sua função de produção necessitar de mais insumos financeiros. Os resultados de eficiência do método DEA são intrinsecamente relacionados a esta restrição.

Quanto ao pré-requisito de correlação são esperados dois tipos de relações. Entre os indicadores representativos dos insumos e produtos é desejável que exista correlação. Para indicadores do mesmo tipo não é desejada correlação, pois, como exemplo, dois produtos (insumos) com alta correlação contribuem pouco para detalhar a eficiência. A supressão de variáveis com elevado coeficiente de correlação pode acarretar variações significativas no valor de eficiência.

Charnes et al (1985) demonstraram que é necessário que as funções que relacionam as entradas e saídas tenham a propriedade matemática chamada isotonicidade. Isto significa que um crescimento em qualquer entrada resulta em algum crescimento em alguma saída, ou uma redução em qualquer entrada resulta em alguma redução em alguma saída.

2.2.2 – Características, diferenciais e limitações do método DEA

De acordo com Charnes et al (1996), Coelli et al (2005), Cooper et al (2004) e Cooper et al (2006), o método *Data Envelopment Analysis* oferece os seguintes atributos diferenciais para escolha da sua implementação.

1. Permite uma estimativa robusta da fronteira de eficiência;
2. Os índices de eficiência são baseados em dados reais;
3. Fornece subsídios adicionais sobre rendimento de escala;
4. É uma opção e um suplemento aos métodos de análise de tendência central e análise benefício custo;
5. Não necessita da especificação prévia da forma da função de produção;
6. Pode ponderar a probabilidade de que *outliers* não representem apenas observações fora da curva, mas possíveis referências a serem analisadas;
7. Permite a inclusão de atributos ambientais ou do processo de produção que não sejam nem recursos econômicos ou produtos;
8. Analisa cada DMU separadamente, caracterizando a eficiência relativa ao conjunto de DMUs;
9. Como o DEA baseia-se em níveis de insumo e produto individuais (para cada Unidade de Tomada de Decisão), permite identificar que insumos estão sendo utilizados em excesso e que produtos deveriam ser produzidos em maior quantidade para a respectiva unidade se tornar eficiente;
10. Utiliza pesos variáveis para os indicadores, eliminando o risco da fixação de pesos a priori.

Por outro lado, o método DEA é dependente de determinados limites e é importante identificá-los para evitar possíveis dificuldades que podem ser encontrados no seu uso, produzindo resultados imprecisos. De acordo com Charnes et al (1996), Coelli et al (2005), Cooper et al (2004) e Cooper et al (2006), podem-se citar:

1. A supressão de um insumo ou produto importante pode determinar resultados viciados;
2. Os escores de eficiência são relativos, somente, às melhores unidades na amostra;
3. O método DEA requer apenas uma observação sobre cada caso 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;
4. Deve-se ter cuidado quando se compara o resultado 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;

5. A adição de uma unidade extra em no DEA pode não resultar em um aumento nos escores de eficiência técnica das unidades existentes. Mas pode resultar em aumento de ineficiência de todas as demais unidades;
6. 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, relação menor do que três DMUs para cada par insumo *versus* produto, muitas das unidades aparecerão sobre a fronteira DEA;
7. Como o DEA é baseado em pontos extremos, é muito sensível à especificação das variáveis; e
8. Quando nenhuma consideração é feita para as diferenças entre ambientes, pode-se ter indicações enganosas sobre a competência gerencial relativa.

2.2.3 – Aplicações do método DEA

O método DEA, desde que respeitados seus pré-requisitos e limites, pode ser aplicado para obter diversos objetivos, de acordo com Charnes et al (1996), Coelli et al (2005), Cooper et al (2004 e 2006):

1. Identificar as fontes e quantias de ineficiência relativa para cada uma das unidades comparadas, sobre alguma de suas dimensões (insumos ou produtos);
2. Construir *ranking* das unidades por seus resultados de eficiência;
3. Comparar unidades ineficientes, entre si e com aquelas eficientes;
4. Avaliar as formas de administração ou programas de controle que gerenciem as unidades comparadas;
5. Criar uma base quantitativa para re-alocação de recursos, entre as unidades avaliadas;
6. Identificar as unidades eficientes para propósitos não diretamente relacionados à comparação entre unidades;
7. Analisar e investigar padrões predominantes de relações insumo-produto frente ao desempenho real;

8. Comparar resultados de estudos prévios; e
9. Mudar graus de eficiência, ao longo do tempo.

2.2.4 – Modelos matemáticos do método DEA

O modelo CCR (abreviação devido às iniciais dos autores – Charnes, Cooper e Rhodes, será a nomenclatura utilizada nesta tese) ou CRS (relativo ao termo em inglês: *Constant Returns to Scale* - Retorno Constante de Escala), foi criado por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978. Utilizava orientação para insumo e retornos de escala constante. Após esta primeira proposta outros autores apresentaram opções para o tipo de modelo que pode ser aplicado no método DEA.

Banker, Charnes e Cooper (1984) abandonaram os retornos de escala constante por retornos variáveis. Este novo modelo é denominado de BCC (abreviação devido às iniciais dos autores – Banker, Charnes e Cooper, será a nomenclatura utilizada nesta tese) ou VRS (relativo ao termo em inglês: *Variable Returns to Scale* - Retorno Variável de Escala).

No tópico atual são detalhados os modelos antes citados. Subsídios sobre outros modelos DEA podem ser obtidos nas referências (Charnes et al, 1996), (Coelli et al , 2005), (Cooper et al, 2004) e (Cooper et al, 2006).

Na comparação de eficiência mais simples, composto por um insumo e um produto, a medida de produtividade pode ser considerada como medida de eficiência relativa para a unidade de produção i em relação ao valor da referência (referência é a unidade de produção que apresenta o valor ótimo na relação insumo versus produto, considerada na amostra como 100% eficiente), definida como:

$$\text{Eficiência}_i = \frac{\text{Produto}_i}{\text{Insumo}_i} \quad (2.1)$$

Em situações reais as DMUs utilizam múltiplos insumos e produtos, não apresentando proporcionalidade no seu consumo e produção. Adicionando esta informação à equação (2.1), tem-se:

$$\text{Eficiência}_i = \frac{\text{Soma ponderada dos produtos}_i}{\text{Soma ponderada dos insumos}_i} \quad (2.2)$$

Na equação (2.2) é preciso definir ou conhecer os pesos de cada variável. Esta escolha, a priori, pode apresentar dificuldade devida à sua complexidade. No método DEA esses pesos não são ponderados a priori. Posteriormente ao problema de otimização eles serão selecionados e maximizarão a eficiência da DMU considerada. Os pesos encontrados para uma DMU ineficiente identificam quais as DMUs que serviram de referência para a mesma. Os modelos DEA desenharam uma superfície envoltória de acordo com as características das DMUs consideradas eficientes que depende do modelo utilizado.

2.4.4.1 – Modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) – Retorno Constante de Escala.

O modelo inicial do método DEA propunha o seguinte problema de otimização (Lins e Meza, 2000):

$$\begin{aligned}
 \text{Maximizar: } \quad & h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \\
 \text{Sujeito a: } \quad & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; j = 1, 2, \dots, n \\
 & \frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} > \varepsilon; r = 1, \dots, m \\
 & \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} > \varepsilon; i = 1, \dots, m \\
 & \varepsilon > 0
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Onde:

h_0 = Medida da eficiência de determinada DMU;

u_r = Peso relativo aos produtos;

v_i = Peso relativo aos insumos;

y_{rj} = Valores dos produtos;

x_{ij} = Valores dos insumos;

r = Diferentes tipos de produtos;

- i = Diferentes tipos de insumos;
- j = Número de DMUs analisadas;
- s = quantidade de determinado produto;
- m = quantidade de determinado insumo;
- ε = constante menor que qualquer real positivo.

O desempenho relativo de determinada DMU é avaliado em relação ao conjunto das n DMUs. Os termos y_{rj}, x_{ij} são constantes que simulam os valores dos produtos, $r = 1, \dots, s$, e insumos, $i = 1, \dots, m$. Estes números são relativos à DMU j , onde $j = 1, \dots, n$. É necessário resolver n vezes o problema, uma para cada DMU da amostra. O maior valor de eficiência admissível de ser alcançado é $h_0^* = 1$ devido às restrições impostas.

O número obtido em (2.3) é um escalar, incluído entre $0 \leq h_0^* \leq 1$ e expressa uma relação de eficiência onde $h_0^* = 1$ indica 100% de eficiência e $h_0^* < 1$ indica um ponto abaixo da fronteira que apresenta oportunidade de melhoria. O símbolo * sugere um resultado, ou seja, um valor após a resolução do modelo. O dividendo em (2.3) indica o conjunto dos produtos esperados e o divisor o conjunto de insumos empregados para obter estes produtos.

A forma da equação em (2.3) é complexa no ponto de vista computacional, sendo necessário transformá-la em um problema de programação linear. Todas as etapas desta alteração podem ser encontrados em Charnes et al (1984), o que é mostrado a seguir é o resultado final :

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximizar: } \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \\
 & \text{Sujeito a : } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \\
 & -u_r \leq -\varepsilon \\
 & -v_i \leq -\varepsilon
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Na equação (2.4), a finalidade é maximizar a saída sujeita à entrada, enquanto mantém a condição de que a saída não pode exceder a entrada para qualquer DMU. Isto sugere que a condição ótima de Pareto é satisfeita, ou seja, uma DMU atinge seu auge de eficiência quando não é possível reduzir qualquer insumo sem que o consumo de outro aumente, ou que seja reduzida a produção. Por outro lado, não é possível aumentar a quantidade de algum produto sem que ocorra a redução de outro, ou que aumente o consumo de insumos. O dual da equação (2.4) é apresentado na equação (2.5) (Charnes et al, 1984):

$$\begin{aligned} \text{Minimizar: } & \theta - \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right] \\ \text{Sujeito a: } & 0 = \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \\ & y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \\ & 0 \leq \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \text{ para } i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2.5)$$

Onde:

θ = Medida de eficiência;

λ = Peso relativo a cada DMU;

s^+, s^- = limites superior e inferior;

A designação de análise envoltória de dados procede da equação (2.5). Qualquer alternativa presumível de λ_j fornece um limite superior para os produtos e um inferior para os insumos da DMU em análise e contra estes limites θ é comprimido. Os valores de $\lambda_j^*, s_i^-, s_r^{+*} \geq 0$ indicam as escolhas ótimas coligadas com a minimização $\theta = \theta^*$. O conjunto de soluções molda uma superfície que envolve todas as DMUs analisadas.

2.4.4.2 – Modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper) – Retorno Variável de Escala.

No modelo BCC o retorno constante de escala do CCR é substituído pelo retorno variável. Com esta alteração é possível analisar DMUs que apresentam distintos coeficientes de relação insumo / produto. O modelo BCC é mais realista que o CCR, separando a medida de eficiência técnica da medida de eficiência de escala.

Para obter a equação do modelo BCC (2.6), é incluída na equação (2.5) a restrição para os valores de λ_j ficarem restritos a um somatório de valor total igual a 1. Com esta mudança não se permite que ocorra expansão ilimitada ou encolhimento até a origem dos planos de operação, demarcando uma superfície de forma convexa. A restrição de que a DMU deve ter eficiência de escala é retirada e, conseqüentemente, toda DMU é comparada apenas com outras DMUs de tamanho similar, evitando comparações com outras de porte substancialmente maior ou menor (Lins e Meza, 2000).

$$\begin{aligned} \text{Minimizar: } & \theta - \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right] \\ \text{Sujeito a: } & 0 = \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \\ & y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \\ & 1 = \sum \lambda_j \\ & 0 \leq \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \text{ para } i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2.6)$$

De acordo com Cooper et al (2004), a medida de eficiência pode ser decomposta em duas componentes:

- 1 - Eficiência de escala - é o componente associado às variações da produtividade decorrentes de mudanças na escala de produção.
- 2 - Eficiência técnica - capacidade de utilizar os insumos eficientemente, associada à habilidade de obter máxima saída de um determinado insumo, evitando desperdício. Está ligada à habilidade gerencial dos administradores.

Uma DMU é eficiente no modelo CCR quando possui eficiência técnica e de escala, ou seja, as eficiências técnicas e de escala são avaliadas agregadas. Para o BCC é preciso exclusivamente ter eficiência técnica, pois o indicador da eficiência avaliado sob a suposição de retornos variáveis satisfaz uma medida de eficiência técnica e está depurado dos efeitos de escala de produção. No modelo BCC, o resultado obtido informa

individualmente o valor da eficiência técnica e da eficiência de escala. A figura 2.3 demonstra estas características.

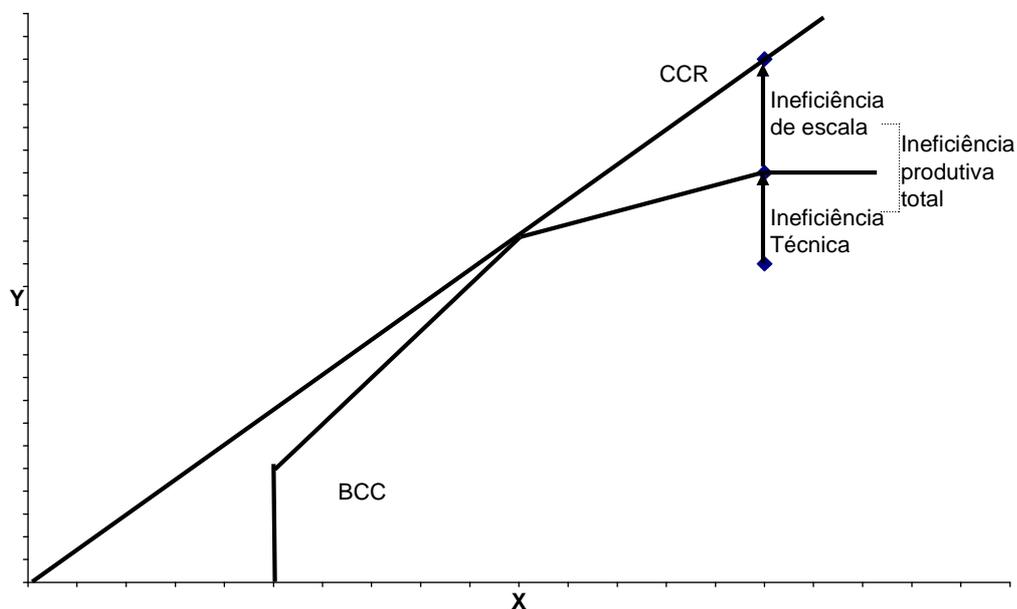


Figura 2.3 – Modelos CCR e BCC (Coelli, 1996, p. 19) com adaptações.

Lembrando que o valor máximo plausível para as medidas de eficiência é 1, a equação (2.7) revela a relação entre as três eficiências, pela qual, verifica-se que a máxima eficiência do modelo BCC é maior ou igual que a do modelo CCR.

$$\text{Eficiência produtiva (CCR)} = \text{Eficiência técnica (BCC)} \times \text{Eficiência de escala} \quad (2.7)$$

Uma unidade de produção considerada tecnicamente eficiente pode melhorar sua eficiência produtiva por meio de mudanças na sua eficiência de escala. A eficiência técnica pode ser trabalhada em ações de curto prazo, enquanto a eficiência de escala está relacionada a ações de longo prazo.

2.2.5 – Orientação do método DEA para insumo ou produto

A opção de orientação no método DEA fica sujeita ao tipo de análise que se espera atingir. Basicamente a preferência da orientação é feita de acordo com as quantidades, insumos ou produtos, que se tem o maior controle. Os modelos norteados para insumo ou produto são

semelhantes. Um minimiza o consumo agregado e mantém constante a produção. O outro mantém constante o consumo agregado e busca maximizar a produção.

A diferença entre a orientação para insumo ou para produto é demonstrada com o auxílio da figura 2.4 (Coelli, 1996). Para simplificar é utilizado um insumo para obter um produto. Na figura 2.4 (a), a função $f(x)$ forma uma fronteira com retornos decrescentes de escala no trecho B-D. As DMUs B e D moldam a forma da superfície e a DMU P apresenta ineficiência.

Neste gráfico, a medida de eficiência orientada para insumo é calculada pela relação AB/AP , enquanto a medida orientada para produto é CP/CD . Pela figura 2.4 (a) nota-se que estas medidas são desiguais. As relações AB/AP e CP/CD são equivalentes quando ocorrem retornos constantes de escala, como aparece na figura 2.4 (b), onde AB/AP é igual à CP/CD , para qualquer DMU ineficiente.

Em relação à fronteira construída, os modelos orientados para insumo ou produto apresentam a mesma forma, isto é, identificam o mesmo conjunto de DMUs eficientes; no caso da figura 2.4 as DMUs B e D.

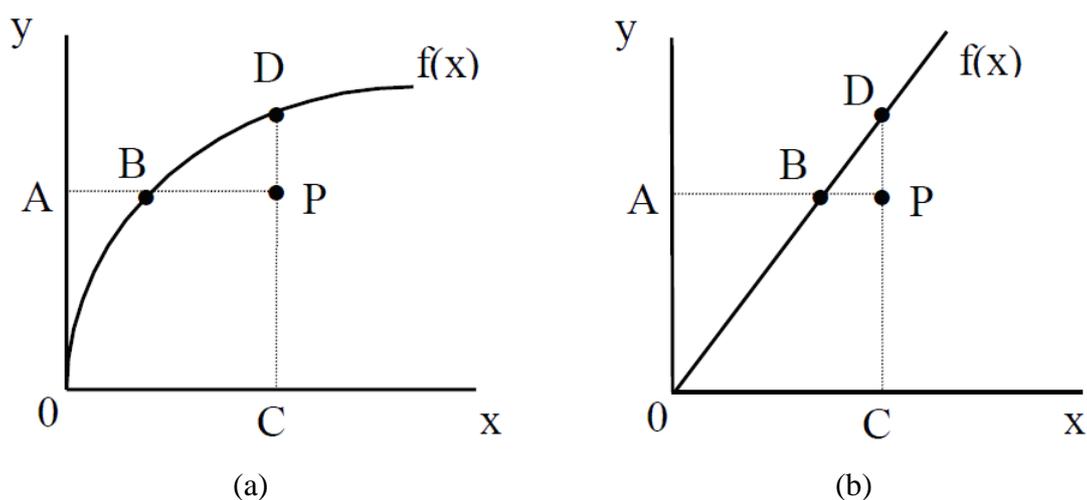


Figura 2.4 – Orientação para insumo e produto (Coelli, 1996, p. 7).

Já as medidas de eficiência associadas com as DMUs ineficientes diferem entre os dois métodos. Na figura 2.4 (a), a DMU P, para tornar-se eficiente, deve reduzir a quantidade

do insumo X ou aumentar a quantidade do produto Y. A redução no insumo precisa ser maior do que o aumento no produto. Assim, a eficiência da DMU P é menor em relação ao insumo do que ao produto.

2.2.6 – Trechos lineares da fronteira de eficiência (*Slacks* ou folgas)

Por ser uma técnica não-paramétrica, a DEA apresenta segmentos lineares (*slacks* ou folgas). Este ponto é importante na interpretação da eficiência das DMUs, principalmente se estas folgas aparecem paralelas aos eixos das coordenadas.

A figura 2.2 (Coelli, 1996) é novamente reproduzida na figura 2.5. As formas da borda da fronteira entre uma função paramétrica e uma não-paramétrica são distintas. Na figura 2.5 (a), a borda da fronteira de eficiência é uma linha suave que representa a isoquanta da DMU eficiente. Mas para obter esta isoquanta é necessário conhecer, a priori, a função de produção da DMU eficiente. Na prática isto não ocorre e a curva é apenas estimada a partir de uma determinada amostra, conseqüentemente formando trechos lineares (*slacks*), representados na figura 2.5 (b).

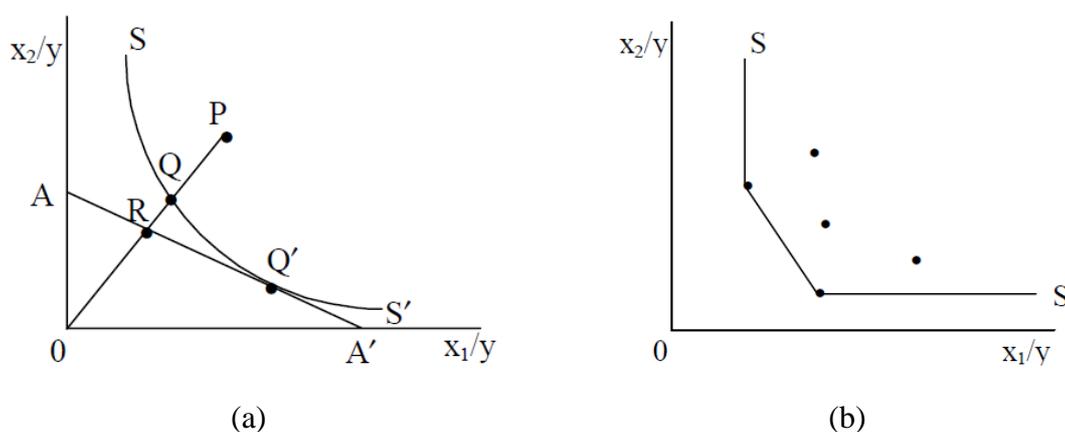


Figura 2.5 – Função paramétrica e não-paramétrica (Coelli, 1996, p. 4).

Para mostrar como a ocorrência de folgas pode influenciar a análise de eficiência recorre-se à figura 2.6. Apresenta-se uma função de produção composta por dois insumos e um produto. Pode-se observar que as DMUs C e D modelam a fronteira de eficiência e as DMUs A e B apresentam ineficiências. Medindo-se a eficiência das DMUs A e B tem-se

as relações: OA'/OA e OB'/OB , respectivamente. O ponto A' é a projeção eficiente da DMU A, mas, como pode ser notado pelo gráfico, ainda seria possível reduzir a relação x_2/y / y até o ponto C. Logo o ponto A' é considerado eficiente apenas se for levado em conta a ocorrência de *slacks*, ou seja, o comprimento CA' .

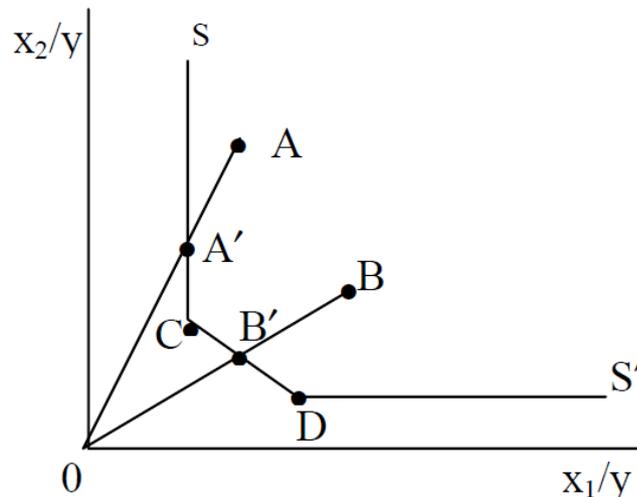


Figura 2.6 – Influência das folgas na medida de eficiência (Coelli, 1996, p. 12).

2.2.7 – Resolução dos modelos

Como suporte para resolução dos modelos DEA aplicados foi empregado o programa SIAD (Sistema Integrado de Apoio a Decisão) versão 3.0, desenvolvido pelo grupo de pesquisa da Universidade Federal Fluminense formado por Lídia Angulo Meza, Luiz Biondi Neto, Soares Mello e Eliane Gomes. É disponível para *download* gratuito no endereço <www.uff.br/decisao>.

O SIAD é um programa que integra em um único pacote ferramentas de apoio à decisão. Foi elaborado para obter diversos resultados dos modelos DEA clássicos e podem-se integrar módulos adicionais, como restrições de pesos e fronteira invertida. Foi criado em Delphi 7.0 para ser utilizado em plataforma Windows e possui capacidade de trabalhar com até 150 DMUs e 20 variáveis de entrada e saída, amplitude suficiente para os objetivos do presente trabalho (Mello et al, 2005b). A figura 2.7 mostra a tela inicial do SIAD.

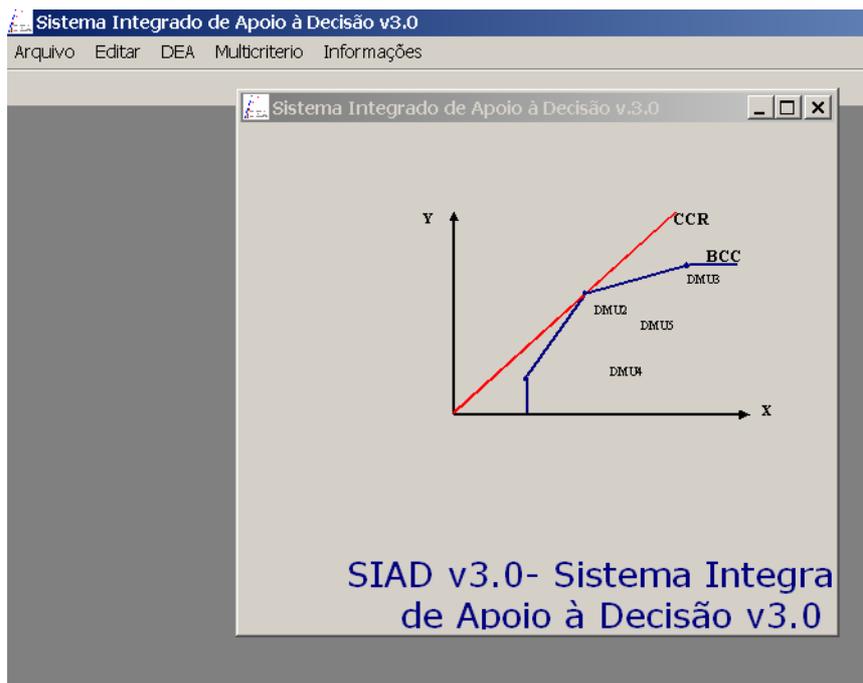


Figura 2.7 – Tela inicial do SIAD.

É possível entrar com os dados para análise de duas formas: por meio de um arquivo em formato txt ou digitando os valores diretamente numa grade de entrada. A configuração dos dados de entrada por meio do arquivo é disposta na figura 2.8, separação de colunas por meio de tabulações e o ponto como separador decimal.

5 DMU	2 Input1	1 Input2	Output
A	4	3	2
B	1	6	5
C	2	3	4
D	1	2	1
E	10	5	8

Figura 2.8 – Formato arquivo de entrada (Mello et al, 2005a, p. 21).

Como pode ser visto na da figura 2.9, o programa apresenta opções de escolha do tipo de modelo, CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) ou BCC (Banker, Charnes e Cooper). Na avaliação é possível seleccionar o padrão de orientação, insumo ou produto, de acordo com o cenário estudado. Módulos avançados permitem diversas opções de complementos para o DEA, como a restrição de pesos ou seleção de variáveis.

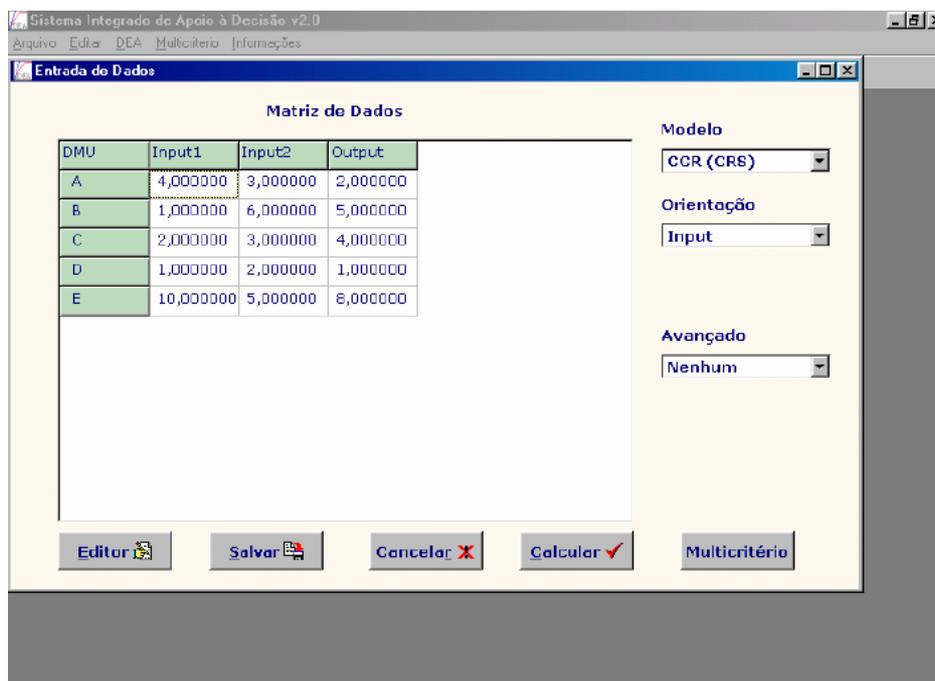


Figura 2.9 – Opções para o método DEA no SIAD (Mello et al, 2005a, p. 22).

A janela com os resultados do programa abrange a medida da eficiência técnica, da eficiência produtiva, folgas, eficiência invertida e composta, pesos das variáveis e unidades de referência. Os resultados relativos aos módulos opcionais só são apresentados caso o usuário os solicite, reduzindo qualquer dificuldade na leitura e interpretação. É disponibilizada ainda a opção de salvar os resultados em um arquivo de texto ou Excel®, produzindo uma ferramenta de manuseio que facilita a interpretação e diagnóstico dos mesmos.

2.3 – SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL

No cenário atual, as forças da sociedade, os ônus impostos e a consciência global guiam as empresas a procurar e desenvolver maneiras de amortizar seus impactos ambientais e a aperfeiçoar sua imagem frente a sua responsabilidade social. Esta visão faz com que as

empresas se reestruturem para se adequar a esta nova percepção e agregar valor ao negócio.

De acordo com Coral (2002) muito tem sido feito para a sustentabilidade do setor produtivo. No caso do Setor Elétrico Brasileiro, não é diferente. A onda da sustentabilidade está representada e promulgada pela procura da modicidade tarifária em conjunto com as obrigações sociais e ambientais. Como instrumentos representantes desta transformação citam-se o conjunto formado pela revisão tarifária das transmissoras, o Relatório Anual de Responsabilidade Socioambiental das Empresas do Setor Elétrico e o balanço social das empresas.

O processo de produção retira do meio ambiente os insumos imprescindíveis para obter seus produtos, gerando paralelamente detritos sólidos, líquidos e gases, ocasionando poluição ambiental e esgotamento dos recursos naturais. Outro ponto sensível surge do fato de que uma grande parte da população mundial ainda sofrer com a pobreza, fome e exclusão social.

As corporações visam a resultados econômicos, sobrevivência, aumento da sua competitividade (menor custo e maior produção) e ampliação de suas fronteiras, mas é necessário e exigido atualmente pela sociedade que os objetivos acima acompanhem a sustentabilidade, sendo inaceitável o ganho de eficiência produtiva com perda de eficiência socioambiental.

Cita-se uma definição de desenvolvimento sustentável reconhecida internacionalmente: “O desenvolvimento sustentável satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras poderem também satisfazer as suas.” (Comissão Brundtland, 1991). Um processo sustentável é aquele que pode ser mantido por um período indeterminado de tempo, apesar dos imprevistos que podem vir a ocorrer durante este período.

O desenvolvimento sustentável gera três dimensões principais: crescimento econômico, equidade social e equilíbrio ecológico. Em outras palavras, o desenvolvimento sustentável contrabalança as dimensões econômica, social e ambiental (*triple-bottom line*) (Carvalho e Viana, 1998). A figura 2.10 ilustra o trio.

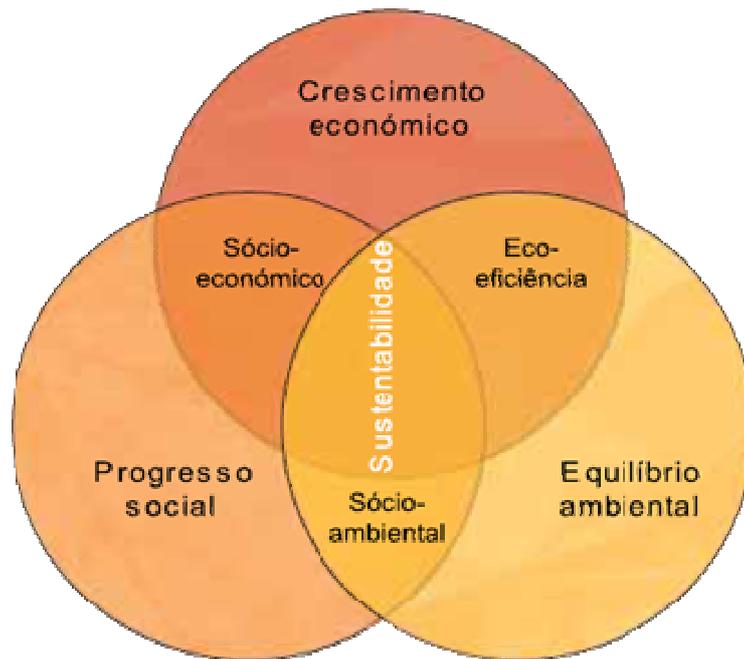


Figura 2.10 – Dimensões do desenvolvimento sustentável.

Para Carvalho e Viana (1998), o foco fundamental do equilíbrio social é a consolidação de uma distribuição mais justa de renda. O crescimento e a eficiência econômica são possíveis por meio de uma otimização da alocação dos insumos e aprimoramento da gestão. Na face ambiental, a limitação do uso de recursos esgotáveis, por meio da substituição por renováveis, novas tecnologias limpas e mecanismos de gerenciamento ambiental, poderiam gerar os resultados esperados.

O Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getulio Vargas comenta que índices como o *Dow Jones Sustainability Index* (referência para 45 entidades gestoras de recursos que o adotam na hora de investir nas ações de companhias com boas ações de governança corporativa, foi criado em 1999) e o Índice de Sustentabilidade Empresarial – ISE – BOVESPA (índice de ações referencial para os investimentos socialmente responsáveis, foi lançado no primeiro semestre de 2005) refletem esta tendência.

A sociedade acompanha o comportamento das empresas com base na sua sustentabilidade. O desempenho em relação à sustentabilidade passa a fazer parte da análise de investidores e financiadores, negócios são decididos também considerando estas avaliações. Os

investidores procuram empresas transparentes, tanto em relação ao risco financeiro quanto a reputação e imagem. Surge um novo procedimento de estimativa do valor de uma organização, descrito pela figura 2.11.

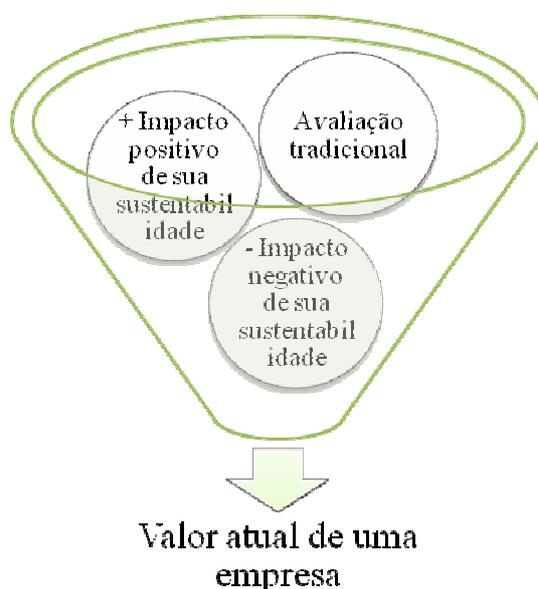


Figura 2.11 – Novo padrão de estimativa do valor de uma organização (ISE-BOVESPA).

A publicação informativa sobre os resultados da companhia relacionados a questões sociais e ambientais é conhecida como balanço social (ou relatório de sustentabilidade, ou relatório socioambiental). O relatório contém subsídios quantitativos e qualitativos que indicam como a empresa cumpre sua responsabilidade social e ambiental, Oliveira (2005). Para as principais referências, o balanço social é a demonstração mais clara e precisa da cidadania empresarial.

Atualmente não existe um modelo padrão de divulgação do balanço social no Brasil, o modelo utilizado neste trabalho será o do Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas (IBASE), o qual surgiu no ano de 1997 e teve no sociólogo Hebert de Souza seu promotor. O motivo para a escolha foi que todas as empresas pesquisadas já utilizam o mesmo para divulgar seu balanço social. A figura 2.12 faz um resumo do relatório IBASE.

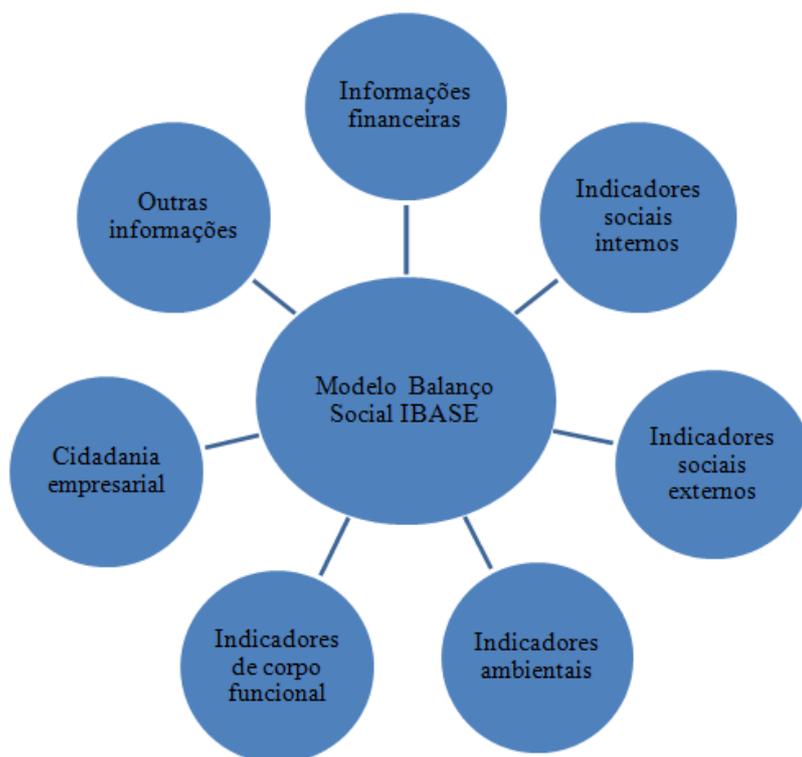


Figura 2.12 - Resumo dos indicadores do relatório IBASE (Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas, com adaptações).

2.4- QUALIDADE NO SERVIÇO PÚBLICO DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A Resolução Normativa ANEEL nº 270 de 26 de junho de 2007, instituiu as definições referentes à qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica, vinculada à disponibilidade das instalações integrantes da Rede Básica. Por meio de uma regulação baseada em incentivos, foi introduzido um sinal econômico para maximizar a disponibilidade do serviço, conhecido como Parcela Variável por Indisponibilidade (PVI), que pode gerar redução na RAP. Pela figura 2.13, verifica-se que a qualidade no serviço de transmissão é composta por indicadores relacionados ao serviço e ao produto.

A continuidade está relacionada com a frequência e duração das interrupções no ponto de conexão dos usuários da Rede Básica e a conformidade acompanha os distúrbios na forma de onda da tensão. Pela própria definição da resolução ANEEL nº 270/2007, a qualidade do serviço de transmissão é medida com base na disponibilidade e na capacidade plena da

FT (Função Transmissão), sendo estas consideradas indisponíveis quando ocorrer Desligamento Programado ou Outros Desligamentos ou Atraso na Entrada em Operação.

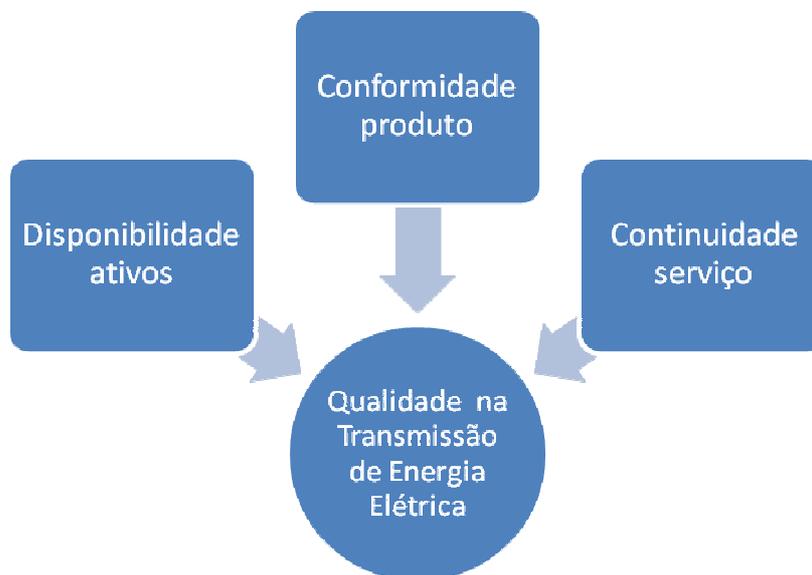


Figura 2.13 – Qualidade do serviço de transmissão de energia elétrica.

É necessário que sejam definidos mais alguns conceitos relativos à disponibilidade de FT's, que estão contemplados na Resolução: Desligamento Programado, que é uma indisponibilidade de FT programada antecipadamente, em conformidade com o estabelecido nos Procedimentos de Rede; Outro Desligamento, que é qualquer indisponibilidade de uma FT não considerada como Desligamento Programado; Restrição Operativa Temporária, que é a restrição operacional existente na FT, de responsabilidade da concessionária de transmissão.

Ainda de acordo com a Resolução, existem Padrões de Duração de Desligamento (onde não é aplicado desconto financeiro) e fatores de multiplicação K_o (150) e K_p (10) para as horas de desligamentos, respectivamente, classificados como outros e programados. Ainda de acordo com a Resolução nº 270/2007, para ativos a serem licitados é possível o ajuste dos padrões e constantes por meio do Contrato de Prestação de Serviços de Transmissão (CPST). Neste ponto pode-se aplicar uma equação que relacione o lucro de uma empresa de transmissão com a PVI e os custos fixos e variáveis:

$$\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Despesas} = (\text{RAP} - \text{PVI}) - (\text{Custos fixos} + \text{Custos variáveis}) \quad (2.8)$$

Pela equação (2.8), o lucro das transmissoras é função de valores fixos e variáveis. Para ser eficiente e aumentar o lucro, é imprescindível encontrar o ponto de equilíbrio entre a redução dos custos operacionais, a gestão dos ativos de transmissão e os descontos pela PVI.

Um grande número de desligamentos programados (manutenção preventiva) não garante necessariamente uma redução nos desligamentos classificados como outros (manutenção corretiva). Uma maneira de agregar valor ao processo é um planejamento detalhado com foco estratégico e levando em conta o aperfeiçoamento de técnicas e logísticas aplicadas, os diferenciais da equipe utilizada, análise das periodicidades das manutenções e das durações e frequências dos desligamentos, redução do tempo de retorno à operação e aproveitamento de desligamentos.

2.5 – FORMAÇÃO DE ÍNDICES

Indicador, para Quiroga (2002), é uma variável que admite valores em determinado tempo, alocando informações de acordo com o cenário à época. É uma ferramenta que permite a aquisição de conhecimentos sobre uma dada realidade. Expressa um aspecto, por exemplo, disponibilidade de um parque de produção.

Índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores na sua composição. Pode-se dizer também que um índice é um indicador de alta categoria, expressando situações multidimensionais. Agrega informações importantes, produzindo uma síntese sobre uma realidade complexa e mutável.

Na escolha de indicadores é indispensável decidir o grau de detalhamento das informações. Escolher um grande número ou detalhar os mesmos ao extremo pode gerar dificuldades na interpretação dos resultados, em vez de favorecer uma maior precisão. Entretanto, a escolha de poucos indicadores ou detalhes reduzidos pode tornar as informações insuficientes para validar as constatações obtidas nas avaliações.

O método DEA é sensível ao número de variáveis de entrada e saída, sendo o mesmo relacionado diretamente com a quantidade de DMUs na aplicação. Os resultados da análise

ficam comprometidos e as constatações ficam de difícil implantação. Uma maneira de contornar este fato é a concepção de índices para compactar a massa de indicadores.

Para Babbie (1999) é infrequente conceber adequadamente uma opinião por meio de uma única variável. Com a utilização de índices formados pela adesão de diversas variáveis é plausível reduzir as distorções intrínsecas ao uso de indicadores solitários. A concepção de um índice pode ser edificada pela soma dos pesos atribuídos aos valores específicos das variáveis individuais.

Assim como no método DEA, que fornece a estimação robusta da fronteira de eficiência, pode-se construir um índice robusto e que conserve os detalhes iniciais de cada variável por meio de uma sequência de pré-requisitos mínimos encontrados em Babbie (1999):

1. Unidimensionalidade: na construção de índices, uma medida composta deve representar apenas uma dimensão;
2. Variação: deve-se considerar o coeficiente de variação, medida de dispersão, fornecida pelos indicadores;
3. Utilizar os coeficientes de correlação: aferir as possíveis relações bivariadas entre os indicadores avaliados para a inserção no índice, a fim de determinar as forças relativas das relações entre os vários pares.

O objetivo de um índice é representar, em um único número, indicadores comuns às empresas em análise, decorrendo dos números que moldam o curso de determinada característica e conseqüentemente o nível de eficiência de cada unidade.

2.6 – SELEÇÃO DE VARIÁVEIS NO DEA

O método DEA apresenta capacidade limitada de classificar as DMUs quando o número de variáveis é alto em relação ao número de unidades em análise. Quanto maior a quantidade de variáveis, maiores serão os graus de liberdade na modelagem da fronteira eficiente, conseqüentemente existe uma tendência de muitas unidades atingirem o escore máximo de eficiência. A restrição ou seleção de variáveis pode ser utilizada para solucionar o caso. Neste contexto, o escopo deste tópico é rever os métodos de seleção de variáveis que

auxiliam na identificação das que são importantes e adequadas para comparar a eficiência relativa das unidades.

Na maioria dos estudos, tem-se aceitado a escolha das variáveis por meio do julgamento de especialistas e dependente das informações dos bancos de dados utilizados. Com um valor maior de variáveis é possível identificar melhor as diferenças entre as DMUs, porém perde-se na habilidade discriminatória do método.

Segundo Lins & Angulo Meza (2000), nos casos em que se dispõe de poucas variáveis e muitas DMUs, não se justifica a preocupação em utilizar técnicas de seleção em variáveis. Nesta situação, o uso de todas as variáveis pré-selecionadas não deve trazer grandes desvantagens ao modelo DEA. No entanto, caso o número de DMUs seja pequeno, o uso de um grande número de variáveis tira todo o sentido do método DEA. Se não se desejar usar modelos avançados, nem se conseguir aumentar o número de DMUs, uma das opções é restringir as variáveis que vão entrar no modelo. Neste contexto, os métodos de seleção de variáveis devem ser vistos como instrumentos de auxílio à decisão, que orientarão a escolha final.

Soares de Mello et al (2007) apresenta um estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA que descreve as vantagens e desvantagens de quatro técnicas:

1. I-O *stepwise* exaustivo completo: rejeita variáveis menos representativas e realça as variáveis mais representativas. Não aumenta o poder discriminatório;
2. Multicritério: incorpora a opinião do especialista. Pode levar a resultados distintos dependendo do especialista;
3. Multicritério Combinatório Inicial: apresenta eficiência média relativamente elevada. Pode levar a um modelo infactível;
4. Multicritério Combinatório por Cenários: apresenta eficiência média relativamente elevada com boa capacidade de ordenação. Possui custo de cálculo elevado.

Será delineado a seguir apenas o método “I-O *stepwise* exaustivo completo”, pois o mesmo aproxima-se mais dos objetivos do trabalho, sendo a técnica adotada para recusar as variáveis menos representativas e destacar as variáveis mais representativas.

Baseado no fato de que a eficiência média é pouco afetada por algumas variáveis, é possível, após aplicação do método e identificação, retirar as mesmas do modelo. Com isso descartam-se as variáveis que agregam reduzida mudança de eficiência, menos representativas, e destacam-se as que agregam maior valor, mais representativas. O princípio de máxima relação causal entre insumos e produtos é respeitado. A figura 2.14 expõe o processo.

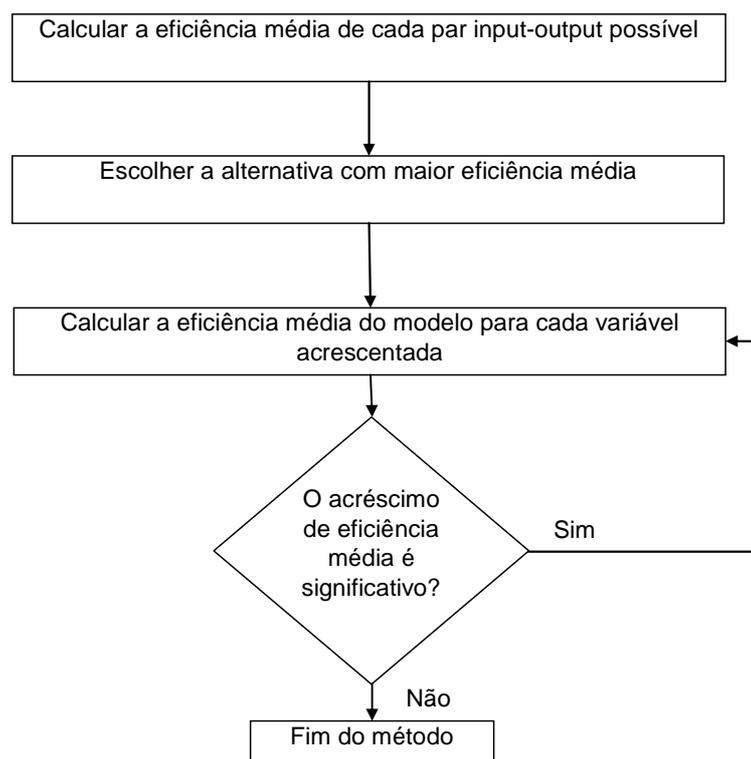


Figura 2.14 – Método I-O exaustivo completo (Soares de Mello et AL, 2007, p. 26, com adaptações).

2.7- FRONTEIRA INVERTIDA

A fronteira invertida foi introduzida por Yamada et al. (1994), com aprimoramentos relevantes de Entani et al. (2002). A metodologia surgiu a partir da necessidade de aumentar a capacidade discriminatória dos modelos originais do método DEA. Na aplicação do método DEA, pode ocorrer que um grande número de DMUs apresente eficiência de 100%. Este fato pode estar relacionado diretamente ao número de variáveis de insumo e produto e ao número de DMUs analisadas. Quanto maior o número de variáveis, ou menor o número de DMUs, maior a dificuldade na identificação das unidades

realmente eficientes (como regra geral é aceito que no mínimo três DMUs são necessárias para cada relação insumo e produto).

Como solução para aumentar a capacidade de ordenar as unidades, contornando a baixa discriminação, aplica-se o conceito de fronteira invertida. Basicamente, a fronteira invertida é uma análise pessimista das DMUs, que consiste em inverter os produtos com os insumos e os insumos com os produtos. As unidades que concebem o contorno da fronteira invertida possuem as melhores práticas sob uma visão oposta à formulação original, ou seja, são as unidades que apresentam os piores desempenhos.

A figura 2.15 apresenta uma fronteira padrão e a 2.16 uma fronteira invertida. Como exemplo é considerado o caso de 9 unidades de produção (DMUs A, B, C, D, E, F, G, H e I) que utilizam um insumo para gerar um produto.

Na figura 2.15, a fronteira padrão é construída considerando retorno variável de escala e as unidades que moldam a fronteira são aquelas que apresentam as melhores relações insumos versus produtos. A fronteira de eficiência padrão é formada pelas DMUs A, G e D. No gráfico, por exemplo, a DMU D utiliza 3 partes do insumo para gerar 6 partes do produto. A DMU B utiliza 3 partes do insumo para gerar 1,5 partes do produto. A conclusão é de que a DMU D possui uma melhor eficiência do que a DMU B.

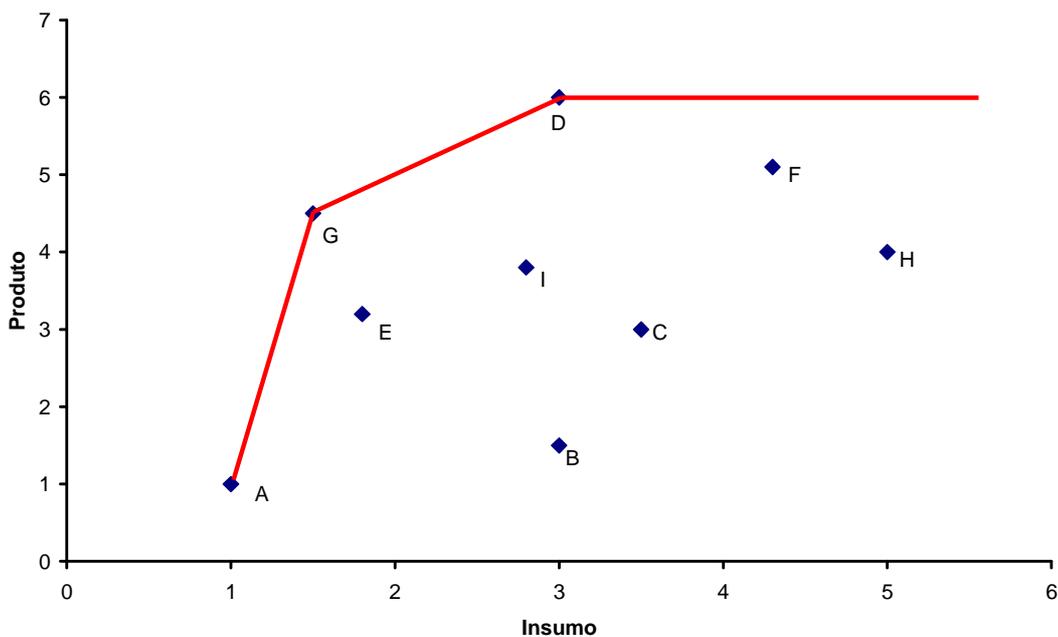


Figura 2.15 - Fronteira de eficiência padrão considerando apenas um insumo e um produto.

Na figura 2.16, a fronteira invertida em relação à fronteira padrão da figura 2.15 é construída considerando também retorno variável de escala. Na fronteira invertida, as unidades que moldam a fronteira são aquelas que apresentam as piores relações insumo versus produtos. Para obter o gráfico da fronteira invertida é necessário trocar os valores originais de insumo com os valores de produto de cada DMU, ou seja, o valor que era considerado como insumo na fronteira padrão passa a ser considerado como produto na fronteira invertida. Da mesma forma, o valor que era considerado como produto na fronteira padrão passa a ser considerado insumo na fronteira invertida. Como exemplo, a DMU G no gráfico da figura 2.15 apresenta 1,5 partes de insumo e gera 4,5 partes de produto. Com a inversão, a DMU G, no gráfico da figura 2.16, apresenta agora 4,5 partes de insumo e gera 1,5 partes de produto.

O efeito da inversão dos insumos com os produtos aparece na formação da fronteira de eficiência, que agora é formada pelas DMUs A, B e H. No gráfico invertido, por exemplo, a DMU B utiliza 1,5 partes do insumo para gerar 3 partes do produto. A DMU D utiliza 6 partes do insumo para gerar 3 partes do produto. A conclusão é de que, na fronteira invertida (piores desempenhos), a DMU B possui uma maior eficiência do que a DMU D.

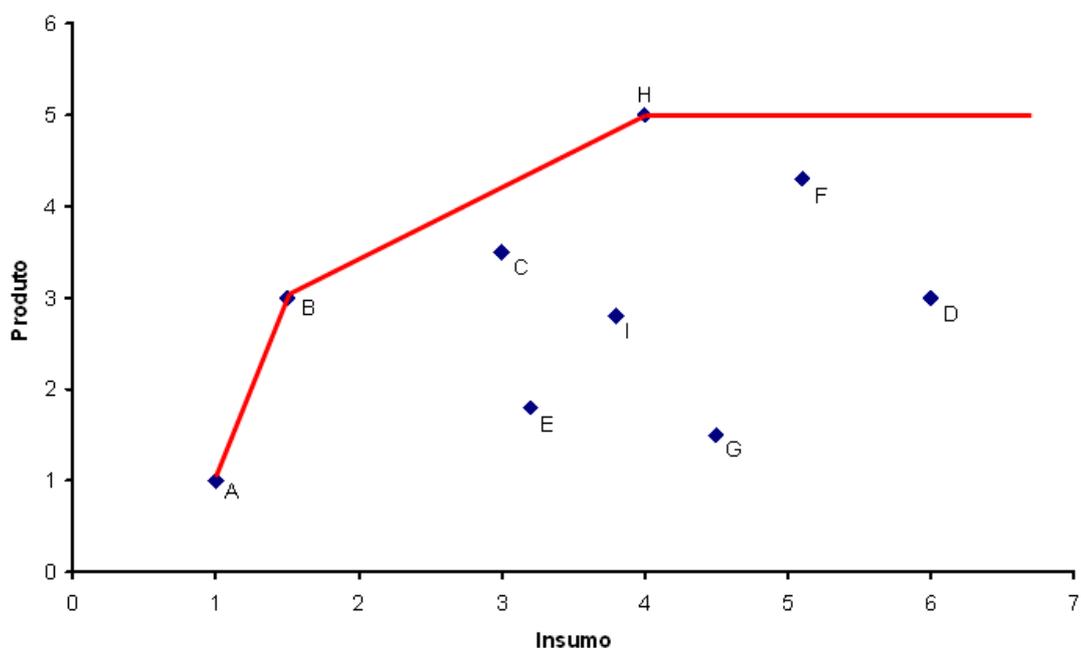


Figura 2.16 - Fronteira de eficiência invertida em relação à figura 2.15 considerando apenas um insumo e um produto.

Conforme Mello et al. (2003), com o emprego da fronteira invertida é possível uma análise mais completa da situação, uma vez que esta avalia as DMUs onde elas apresentam oportunidade de melhoria, ou seja, a DMU deve ser eficiente naquilo que ela possui excelência e não deve possuir um desempenho ruim nas outras tarefas. DMUs avaliadas como eficientes pela fronteira padrão podem aparecer como ineficientes pela fronteira invertida, conseqüentemente, para determinada DMU possuir realmente eficiência, esta deve ter um elevado grau de pertinência em relação à fronteira padrão e baixo grau em relação à fronteira invertida.

Dessa forma, todas as variáveis são levadas em conta no índice final. A eficiência composta é o resultado da análise da DMU pela fronteira padrão e invertida. De acordo com Meza et al. (2007) o resultado é obtido por meio da média aritmética entre a eficiência padrão e o valor obtido da subtração da eficiência invertida pela unidade:

$$E_{COMPOSTA} = \left[\frac{E_{PADRÃO} + (1 - E_{INVERTIDA})}{2} \right] \quad (2.9)$$

Onde:

$E_{COMPOSTA}$ = eficiência composta, representa o escore de eficiência agregado;

$E_{PADRÃO}$ = eficiência padrão, representa o escore de eficiência pela fronteira normal;

$E_{INVERTIDA}$ = eficiência invertida, representa o escore de eficiência pela fronteira invertida.

Para Mello et al (2003) o modelo DEA de fronteira invertida mostra-se útil na melhoria da discriminação entre DMUs consideradas eficientes. O método impede que uma DMU seja avaliada apenas pelos seus resultados mais favoráveis. Como exemplo, no caso da figura 2.15, a fronteira padrão indica 3 DMUs (A, D e G) com eficiência de 100%. Na figura 2.16, fronteira invertida, verifica-se que a DMU A continua a fazer parte da fronteira, ou seja, é considerada eficiente pelas duas óticas. As DMUs D e G não fazem parte da fronteira invertida, sendo que a DMU G apresenta a maior distância em relação à fronteira invertida. Com o cálculo da eficiência composta, considerando todos os aspectos, identifica-se que apenas a DMU G apresenta eficiência de 100%.

2.8 – ENVOLTÓRIA SOB DUPLA ÓTICA – EDO

A metodologia da Envoltória sob Dupla Ótica foi fruto da tese de doutorado de Novaes (2002). A aplicação original foi na avaliação imobiliária em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). Segundo Novaes (2002), o método desenvolvido consegue encontrar, em um espaço n-dimensional, os limites das fronteiras que formam o conjunto constituído pelos imóveis com preço eficiente segundo a visão do comprador e do vendedor. Estas fronteiras envolvem os dados dos n imóveis observados. Para cada unidade é determinada a eficiência da transação econômica em relação às fronteiras sob cada ótica, normal (comprador) e invertida (vendedor). Na sequência é calculado o intervalo de variação do seu valor original entre as fronteiras.

De acordo com Novaes (2002), para uma mercadoria comum (uma mercadoria pode ser interpretada como um bem ou um serviço prestado), a ação de compra e venda é interpretada pelo preço obtido pela mesma na transação e o bem adquirido é representado pelas suas características e seu valor agregado. Na ótica do vendedor, as características do bem são consideradas como insumos e o dinheiro recebido como produto. Para a ótica do comprador, ocorre o inverso, o dinheiro pago é o insumo e as propriedades físicas são os produtos.

Novaes (2002) indica que as probabilidades de valor para um mesmo item estão contidas entre as fronteiras da EDO. A fronteira pelo lado da oferta mostra a eficiência máxima na ótica do vendedor, ou seja, o maior preço adquirido pelo bem, além das transações ineficientes por este foco. Igualmente, a fronteira pelo lado da demanda, aponta a eficiência máxima na ótica do comprador, que é alcançada pelo menor preço obtido pelo bem.

Novaes (2002) desenvolveu uma metodologia para ajustar as fronteiras dentro de determinados parâmetros de eficiência, que permitam configurar os conjuntos de imóveis com transação eficiente sob a ótica do vendedor e sob a ótica do comprador. A finalidade deste processo é a configuração do conjunto competitivo, onde os bens em que o equilíbrio entre compra e venda prevaleceu e para os quais, não foi verificada a tendência de valor em benefício de algum dos agentes.

A figura 2.17 mostra que, para construir a EDO, dois modelos DEA são utilizados. Cada um terá o mesmo tipo de orientação, para insumo ou produto. As posições divergentes entre as óticas são encontradas por meio da inversão de insumos e produtos, ou seja, o insumo em uma visão torna-se o produto em outra. A Envoltória sob Dupla Ótica encapsula as DMUs e pode-se verificar determinados comportamentos. O escore de eficiência é calculado por meio dos modelos DEA padrão.

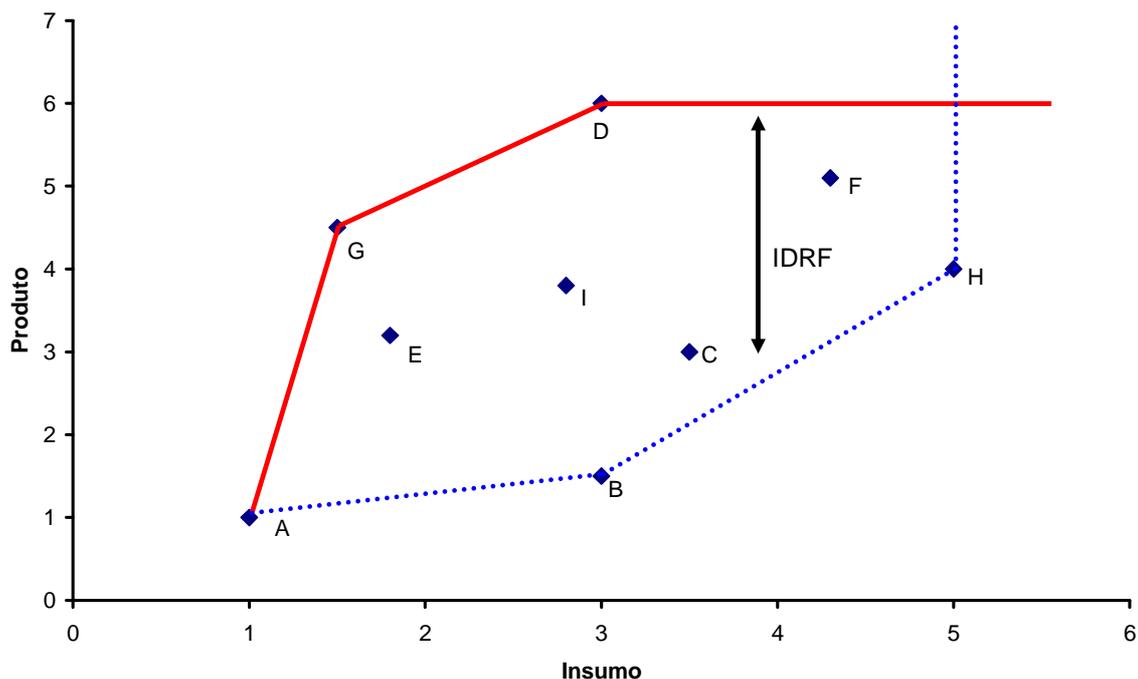


Figura 2.17 - Exemplo gráfico da Envoltória sob Dupla Ótica.

A sigla IDR (Índice de Distância Relativa entre Fronteiras), que aparece na figura 2.17, é um indicador obtido por meio da própria definição do modelo de envoltória dupla. É o intervalo entre as projeções das DMUs sobre cada fronteira, padrão e invertida. Para Novaes (2002) a EDO se destaca de forma significativa em casos nos quais ocorrem interesses opostos em uma mesma questão, quantificando as diferenças.

Cada agente econômico alcança o ponto de equilíbrio quando maximiza algo, por exemplo, o consumidor de energia elétrica maximiza a satisfação (qualidade de vida) ou utilidade (inclusão social), sujeito à restrição orçamentária (energia abundante e barata). A transmissora maximiza o lucro (retorno do capital), sujeito à restrição imposta pela sua função de produção e pela prestação de serviço adequado.

De acordo com Novaes (2002), modelar a imperfeição e o risco do mercado em análise é a principal contribuição do método. Por meio da arquitetura da EDO, as partes envolvidas podem fazer concessões e chegar a um resultado médio, que atenda aos interesses de forma plausível, pois só existe mercado quando todos os agentes envolvidos estão satisfeitos. O conjunto competitivo é formado pelas DMUs que não apresentaram tendência em benefício de algum dos agentes envolvidos. São consideradas como unidades com produtos competitivos e que viabilizam o mercado, minimizando as incertezas.

O Índice de Distância Relativa entre Fronteiras (IDRF) é calculado para cada DMU e corresponde às possibilidades de valor que as variáveis em estudo podem obter. Corresponde ao intervalo entre as duas fronteiras construídas e sua função é identificar a extensão e propiciar um dispositivo de ajuste entre as fronteiras com o objetivo de encontrar o conjunto competitivo. Um alto IDRF indica que existe diferença significativa na comparação, ou seja, a distância entre a fronteira padrão e a invertida é grande e não é definido o conjunto competitivo. Um IDRF pequeno demonstra que existe equilíbrio entre os interesses envolvidos e conseqüentemente um conjunto competitivo, sem tendência para qualquer uma das partes.

A equação (2.10) apresenta a formulação original do cálculo do IDRF desenvolvida por Novaes (2002).

$$IDRF = \frac{(V_v - V_c)}{V_m};$$

$$V_v = \frac{V_0}{E_v};$$

$$V_c = V_0 * E_c$$

$$V_m = \frac{V_v + V_c}{2}$$
(2.10)

Onde:

IDRF = Índice de Distância Relativa entre Fronteiras (%);

E_c = eficiência relativa ótica do comprador, fronteira padrão;

E_v = eficiência relativa ótica do vendedor, fronteira invertida;

V_0 = preço do imóvel;

V_c = valor mínimo virtual do imóvel;

V_v = valor máximo virtual do imóvel;

V_m = valor médio virtual.

Na presente tese, a equação (2.10) foi trabalhada matematicamente para que o IDRf pudesse ser calculado utilizando apenas os escores de eficiência obtidos pela fronteira padrão e invertida. A equação (2.11) apresenta a fórmula adaptada.

$$IDRF = 2 \times \frac{\left[\left(\frac{1}{E_{INVERTIDA}} \right) - E_{PADRÃO} \right]}{\left[\left(\frac{1}{E_{INVERTIDA}} \right) + E_{PADRÃO} \right]} \quad (2.11)$$

Onde:

IDRF = Índice de Distância Relativa entre Fronteiras (%);

$E_{PADRÃO}$ = eficiência padrão;

$E_{INVERTIDA}$ = eficiência invertida.

Diante das características dos agentes econômicos e do mercado, as transações podem proporcionar disposição de valor, que favoreça um agente em relação ao outro. As mercadorias que possuem na transação essa tendência são agrupadas pelo método EDO em conjuntos da ótica padrão e da ótica invertida. As mercadorias que não indicam disposição em benefício exclusivo de um dos agentes formam o conjunto competitivo e viabilizam o mercado.

Não é recomendado analisar o setor elétrico brasileiro como um mercado perfeito, mas é essencial para sua sobrevivência e desenvolvimento a filosofia da sua viabilidade econômica para todos os agentes envolvidos. Somente existe mercado quando os agentes estão satisfeitos, desta forma o método EDO propõe a hipótese de uma região central do espaço serviço que atenda esta condição.

3 – METODOLOGIA

O atual capítulo apresenta a metodologia empregada nesta tese. O encadeamento das ideias segue o seguinte roteiro:

As fontes de dados são identificadas e apresentadas. Caracteriza-se o cenário das empresas e escolhe-se o modelo adequado para o método DEA, no caso do estudo o modelo BCC (retorno variável de escala). Nesta fase também é feita a seleção inicial dos indicadores considerados representativos para a análise de eficiência das transmissoras.

Como o conjunto de indicadores é significativo em relação ao número de DMUs, concebem-se dois índices distintos para compactar este número e não perder as informações presentes nas mesmas: o primeiro índice refere-se à disponibilidade dos ativos da transmissora (qualidade) e o segundo aborda os aspectos sociais e ambientais (sustentabilidade). Para ajustar a quantidade remanescente de indicadores, utiliza-se a técnica de seleção de variáveis. No final do procedimento a cifra cai de 14 para 5 indicadores, permanecendo a contribuição qualitativa inicial do maior número.

Executa-se o método DEA original e imediatamente a etapa de aumento do poder discricionário da mesma por meio do uso do conceito de fronteira invertida. Com a fronteira invertida construída e a eficiência composta calculada é implementado o processo de identificação do índice de distância relativo entre fronteiras (IDRF), como primeiro passo da envoltória sob dupla ótica.

Escolhem-se três patamares para o valor do IDRF máximo. Por meio do processo de remoção de camadas são extraídas as camadas mais externas de ambas as fronteiras, padrão e invertida, de acordo com um modelo específico. O algoritmo é interrompido quando atinge o último dos três patamares definidos ou o número mínimo de DMUs. A cada camada removida, a eficiência das DMUs é recalculada e um novo valor de IDRF é identificado. A unidade que é removida, pela ótica normal ou inversa, mantém seu valor de eficiência constante, igual ao do último ciclo que participou, até o final do procedimento. Os escores finais de eficiência são obtidos e ordenados de acordo com a nova posição relativa das unidades que chegam ao estágio final.

Para as unidades que apresentam oportunidade de melhoria ou para as que querem manter seu escore de eficiência alto, é sugerida a aplicação da teoria da Economia da Experiência adaptada para o setor (apêndice A), metodologia específica e individual para cada cenário e situação das empresas. Os resultados de uma aplicação prática são apresentados e interpretados. Um fluxograma, figura 3.1, é apresentado a seguir identificando os principais passos da metodologia utilizada.

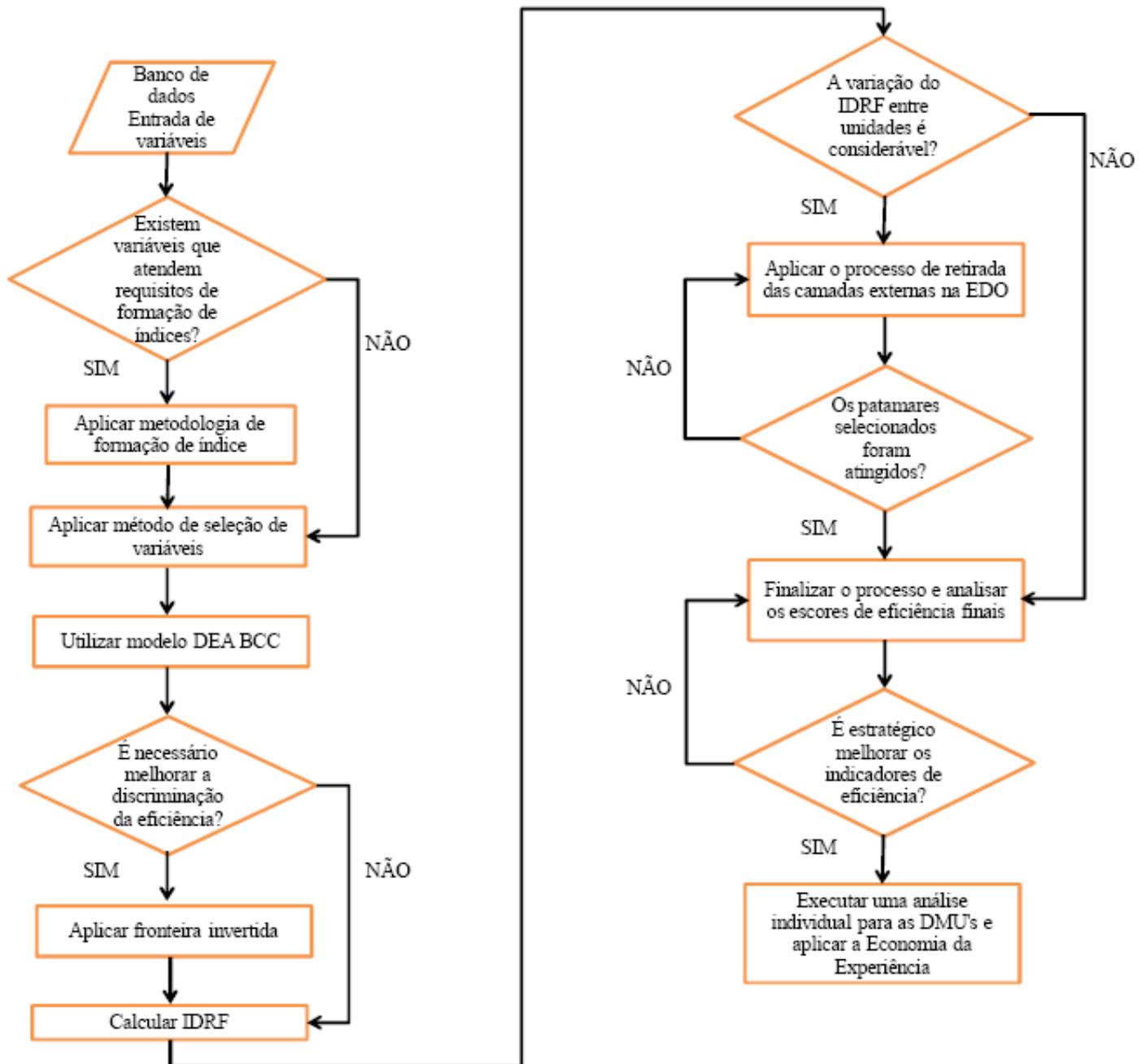


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia aplicada

3.1 – DADOS

Os dados utilizados são, necessariamente, de fontes de informações disponíveis para consulta pública. Assim, o número de concessionárias, a quantidade de indicadores e os tipos de empresas foram definidos pelas fontes.

São utilizadas duas fontes de dados: o anexo I da Nota Técnica nº 396/2009 – SRE/ANEEL e os balanços sociais entre os anos de 2004 a 2008, disponibilizados nas páginas das empresas na Internet. A amostra da Nota Técnica contempla um conjunto de 40 DMUs. O mesmo é formado por cinco observações anuais de oito concessionárias de transmissão (CEEE, CEMIG, CHESF, COPEL, CTEEP, ELETRONORTE, ELETROSUL e FURNAS). Os dados são dispostos em painel. Desta forma, além de ser comparada com outras empresas, cada concessionária é comparada com seu próprio desempenho em anos distintos.

A Nota Técnica nº 396/2009 – SRE/ANEEL fez parte do processo de revisão tarifária periódica das transmissoras realizado pela ANEEL, referente ao segundo ciclo. Por meio da realização de audiências públicas foi possível uma ampla discussão da metodologia empregada, com evoluções em relação ao primeiro ciclo, e os resultados finais foram apresentados. Os dados são de domínio público, disponíveis no site da agência, representando um banco de informações confiável, acessível e que pode ser utilizado como ferramenta de consulta e pesquisa.

São apresentados, inicialmente, diversos indicadores técnicos, econômicos e sociais das empresas de transmissão. Foram escolhidas nove variáveis do tipo técnico-econômico: custo operacional total (PMS), extensão das linhas de transmissão, capacidade de transformação, número de transformadores e módulos e indicadores de desligamentos. A tabela 3.1 resume o grupo desta etapa.

O balanço social das empresas fornece mais cinco indicadores. Para facilitar o processo de comparação as variáveis são normalizadas pelo número de empregados das concessionárias. Adotar este procedimento facilita a aplicação dos mesmos, pois as variáveis disponibilizadas nos balanços sociais referem-se às empresas como um todo, ou seja, não existe separação entre os diversos segmentos de atuação.

Tabela 3.1: Definição das variáveis técnicas e econômicas para uso no método DEA.

Variável	Abreviação	Unidade	Descrição
Pessoal, Material e Serviços	PMS	R\$	Valor utilizado como insumo para prover pessoal, material e serviços para a produção.
Comprimento de linha de transmissão	LT	km	Ativo de transmissão
Capacidade de transformação	MVA	MVA	Potência de transformação que pode ser disponibilizada
Quantidade de transformadores	TR	Unidade	Número de funções de transmissão (FT) – transformador
Quantidade de módulos	MOD	Unidade	Número de equipamentos utilizados nas diversas FT's
Duração desligamento gerenciável	DP	Horas	Desligamentos de FT classificados como programados
Duração desligamento não gerenciável	DO	Horas	Desligamento de FT classificados como outros
Duração restrição operativa	RO	Horas	Restrição operativa temporária de FT
Duração de horas disponíveis das funções de transmissão	HDF	Horas	Total de horas disponíveis das diversas FT's por ano

Uma aproximação viável, sem perda do foco da pesquisa, é assumir que quando se normalizam indicadores como a folha de pagamento bruta pelo número de empregados, todos os empregados possuem acesso aos mesmos benefícios, independentemente da quantidade de segmentos que a mesma atua. A tabela 3.2 fornece a definição destas variáveis (Silvia et al, 2010). A normalização dos indicadores sociais e ambientais pela quantidade de empregados permite comparar as concessionárias do estudo entre si. Os resultados são gerados pela contribuição de cada um dos empregados, independentemente de o mesmo trabalhar na área de geração, transmissão, distribuição ou comercialização de energia elétrica.

Tabela 3.2: Definição dos indicadores sociais e ambientais para uso no método DEA.

Variável	Abreviação	Unidade	Descrição
Receita operacional líquida	ROL	R\$ / N° de empregados	É a receita bruta de vendas e serviços reduzida das vendas canceladas, dos descontos e abatimentos concedidos incondicionalmente e dos impostos incidentes sobre as vendas.
Indicadores sociais internos	ISI	R\$ / N° de empregados	Investimentos internos, obrigatórios e voluntários, que a empresa realiza para beneficiar e/ou atender ao corpo funcional como alimentação, encargos sociais compulsórios, previdência privada, saúde, segurança e medicina no trabalho, educação, cultura, capacitação e desenvolvimento profissional, creches ou auxílio-creche, participação nos lucros ou resultados e outros.
Indicadores sociais externos	ISE	R\$ / N° de empregados	Investimentos voluntários da empresa, cujo público-alvo é a sociedade em geral. Projetos e iniciativas nas áreas de educação, cultura, saúde e saneamento, esporte, combate à fome e segurança alimentar, pagamento de tributos e outros.
Indicadores ambientais	IA	R\$ / N° de empregados	Investimentos da empresa para mitigar ou compensar seus impactos ambientais e também aqueles que possuem o objetivo de melhorar a qualidade ambiental da produção da empresa, seja por meio de inovação tecnológica, seja por programas internos de educação ambiental.
Folha de pagamento bruta	FPB	R\$ / N° de empregados	Remuneração da força de trabalho

3.2 – FORMAÇÃO DOS ÍNDICES

Uma análise utilizando o método DEA com 14 variáveis e 40 DMUs foge dos princípios básicos da técnica e forneceria resultados não aplicáveis, pois muitas DMUs pertenceriam à fronteira e indicariam 100% de eficiência. Ao mesmo tempo é recomendado manter os detalhes específicos e a contribuição de cada variável para o estudo.

A primeira solução proposta é a construção de dois índices, o primeiro contemplando a qualidade técnica (disponibilidade) das transmissoras e o segundo considerando a qualidade social e ambiental. Para facilitar a identificação, o índice técnico é abreviado como ID (índice de disponibilidade) e o socioambiental como IS (índice de sustentabilidade). A criação dos índices permite utilizar a contribuição individual de diversas variáveis em um só número. As tabelas 3.3 e 3.4 apresentam os indicadores que compõem os índices ID e IS.

Tabela 3.3: Indicadores de intervenção no sistema para formação do índice ID*.

Concessionária	Ano	DMU	Desligamento gerenciável (h)	Desligamento não-gerenciável (h)	Restrição operativa temporária (h)	Total de horas disponíveis das FT's
CEEE	2008	DMU1	2.437,20	902,18	81,20	1.818.658,42
CEEE	2007	DMU2	1.877,46	274,99	28,50	1.758.579,05
CEEE	2006	DMU3	3.108,51	398,58	7,96	1.739.723,94
CEEE	2005	DMU4	10.687,45	112,00	9,96	1.706.150,59
CEEE	2004	DMU5	9.030,20	36,96	3,96	1.699.128,88
CEMIG	2008	DMU6	9.958,08	843,84	26,32	1.872.571,76
CEMIG	2007	DMU7	17.783,46	634,10	64,41	1.856.158,03
CEMIG	2006	DMU8	8.059,66	497,44	48,99	1.857.272,16
CEMIG	2005	DMU9	9.084,47	168,32	4,37	1.856.622,84
CEMIG	2004	DMU10	21.984,12	0,18	0,02	1.835.134,68
CHESF	2008	DMU11	13.287,82	1.427,80	129,50	5.136.034,88
CHESF	2007	DMU12	22.783,81	329,96	10,90	4.978.835,33
CHESF	2006	DMU13	27.652,32	69,69	7,27	4.895.390,72
CHESF	2005	DMU14	19.986,70	263,50	27,35	4.806.482,45

CHESF	2004	DMU15	15.769,62	109,34	7,56	4.758.313,48
COPEL	2008	DMU16	4.015,44	140,76	11,27	1.406.191,54
COPEL	2007	DMU17	3.597,88	143,64	6,44	1.406.610,30
COPEL	2006	DMU18	4.352,48	70,59	5,24	1.370.891,69
COPEL	2005	DMU19	1.411,14	0,64	0,00	1.330.107,18
COPEL	2004	DMU20	2.159,46	0,08	0,00	1.276.799,45
CTEEP	2008	DMU21	10.085,13	414,96	30,05	3.362.069,86
CTEEP	2007	DMU22	19.638,14	156,35	15,07	3.142.550,44
CTEEP	2006	DMU23	21.039,30	0,43	0,01	2.852.239,26
CTEEP	2005	DMU24	18.115,80	10,20	0,41	2.592.352,59
CTEEP	2004	DMU25	17.919,00	0,00	1,00	2.592.560,00
ELETRONORTE	2008	DMU26	14.133,60	775,72	61,68	2.236.347,62
ELETRONORTE	2007	DMU27	15.173,78	76,22	7,86	2.148.462,14
ELETRONORTE	2006	DMU28	9.534,62	53,76	1,08	2.049.009,54
ELETRONORTE	2005	DMU29	16.130,22	222,30	21,01	2.042.226,47
ELETRONORTE	2004	DMU30	4.215,53	116,48	12,65	2.054.255,34
ELETROSUL	2008	DMU31	6.775,08	377,36	29,88	2.174.056,37
ELETROSUL	2007	DMU32	7.051,80	26,52	3,12	2.095.318,56
ELETROSUL	2006	DMU33	7.022,40	94,17	4,77	1.972.638,66
ELETROSUL	2005	DMU34	4.959,00	112,21	8,85	1.843.279,94
ELETROSUL	2004	DMU35	10.200,48	0,18	0,02	1.785.598,32
FURNAS	2008	DMU36	28.738,75	531,93	8,84	3.842.637,68
FURNAS	2007	DMU37	30.192,50	95,23	3,86	3.841.628,41
FURNAS	2006	DMU38	29.714,54	554,04	48,51	3.832.840,56
FURNAS	2005	DMU39	29.475,60	89,38	5,47	3.745.989,55
FURNAS	2004	DMU40	8.574,90	23,10	3,31	3.600.518,69

*Notas Técnicas nº 396/2009 – SRE/ANEEL e nº 152/2010 – SRE/ANEEL, com modificações.

Na tabela 3.3, para obter as duas primeiras variáveis foi multiplicado o valor da frequência dos desligamentos, gerenciáveis e não gerenciáveis, pela sua duração média, fazendo-se uso dos valores encontrados no apêndice C.

O indicador da restrição operativa não aparece de forma direta na fonte de dados. Então, utilizando experiência prática, foi considerado que a restrição operativa apresenta variação entre 1% e 8% do total de horas de desligamento não-gerenciável. Para determinar os valores desse indicador para cada DMU foram utilizados os resultados de uma Simulação de Monte Carlo. A Simulação de Monte Carlo, método descrito no apêndice D, consiste na execução de um número elevado de simulações, onde em cada uma é escolhido, aleatoriamente, dentro de uma faixa especificada (no caso atual entre 1% e 8%), um valor para a variável em estudo.

A quantidade de horas disponibilizadas foi calculada por meio do produto simples da quantidade de FT's de cada concessionária pelo número de horas por ano, assumindo 8760 horas/ano. Do resultado, foram subtraídas as horas de indisponibilidade geradas por cada tipo de evento (gerenciável ou não e restrição).

Tabela 3.4: Indicadores do balanço Ibase para formação do índice IS.

Concessionária	Ano	Unidade	ROL*	ISI*	ISE*	IA*	FPB*
CEEE	2008	DMU1	435,96	45,06	37,50	2,16	107,30
CEEE	2007	DMU2	431,37	47,09	31,68	1,25	114,91
CEEE	2006	DMU3	599,91	40,93	252,58	5,26	112,60
CEEE	2005	DMU4	689,04	51,40	219,59	2,42	110,06
CEEE	2004	DMU5	680,82	61,86	222,58	3,56	118,94
CEMIG	2008	DMU6	1044,94	99,96	648,18	6,77	100,04
CEMIG	2007	DMU7	1009,01	96,39	538,84	4,35	98,03
CEMIG	2006	DMU8	1006,94	78,40	592,27	6,04	92,93
CEMIG	2005	DMU9	914,89	81,13	581,04	9,49	87,83
CEMIG	2004	DMU10	763,10	57,07	448,40	16,12	89,25
CHESF	2008	DMU11	871,96	54,28	187,06	2,78	101,42
CHESF	2007	DMU12	751,93	50,71	214,36	2,50	92,65
CHESF	2006	DMU13	665,79	47,46	160,26	1,79	85,23
CHESF	2005	DMU14	668,81	44,58	192,31	1,72	79,03
CHESF	2004	DMU15	755,72	39,65	165,91	1,16	75,29
COPEL	2008	DMU16	640,85	39,57	390,89	14,37	74,03

COPEL	2007	DMU17	684,33	42,32	401,16	12,68	74,09
COPEL	2006	DMU18	727,16	46,67	444,58	12,08	78,32
COPEL	2005	DMU19	712,27	48,89	393,18	7,35	79,68
COPEL	2004	DMU20	699,97	58,02	390,88	3,41	81,43
CTEEP	2008	DMU21	1178,65	46,69	265,74	0,56	121,54
CTEEP	2007	DMU22	1086,34	74,65	296,84	0,29	174,73
CTEEP	2006	DMU23	607,69	61,87	25,75	0,26	196,43
CTEEP	2005	DMU24	469,81	51,66	36,47	0,33	133,52
CTEEP	2004	DMU25	446,44	51,28	35,03	0,26	134,17
ELETRONORTE	2008	DMU26	1022,83	117,60	249,92	6,20	119,82
ELETRONORTE	2007	DMU27	1110,21	86,14	245,04	8,51	104,05
ELETRONORTE	2006	DMU28	1311,17	98,01	188,02	14,26	113,72
ELETRONORTE	2005	DMU29	1524,32	66,65	214,61	8,81	113,84
ELETRONORTE	2004	DMU30	1500,53	69,60	182,00	7,59	98,26
ELETROSUL	2008	DMU31	403,64	79,78	114,54	0,35	102,47
ELETROSUL	2007	DMU32	376,71	76,89	93,37	0,62	98,57
ELETROSUL	2006	DMU33	402,70	69,68	71,34	0,30	97,19
ELETROSUL	2005	DMU34	366,56	77,54	55,10	0,27	73,38
ELETROSUL	2004	DMU35	418,02	74,74	87,49	0,25	78,53
FURNAS	2008	DMU36	1221,77	106,87	132,98	9,47	173,60
FURNAS	2007	DMU37	1199,56	106,31	160,82	8,20	180,30
FURNAS	2006	DMU38	1303,67	113,71	139,39	6,10	151,16
FURNAS	2005	DMU39	1258,45	105,12	199,74	5,19	132,69
FURNAS	2004	DMU40	1321,74	98,40	169,06	4,38	118,44

*Valores normalizados pelo número de empregados e expresso em Mil reais. Fonte de dados os balanços sociais divulgados pelas empresas.

Os valores expressos na tabela 3.4 foram atualizados pelo IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) com referência ao mês de dezembro de 2008. O apêndice E apresenta a variação do IPCA utilizada na atualização. Após a atualização, os indicadores para formação do índice de sustentabilidade foram calculados pela divisão direta dos números divulgados nos balanços sociais pelo número de empregados de cada firma. Os indicadores de sustentabilidade utilizados para formação do índice de sustentabilidade são disponibilizados no apêndice F.

Com os valores dos indicadores definidos, o próximo passo é validar os mesmos para uso na formação dos índices. O primeiro requisito para a formação de um índice é a unidimensionalidade das variáveis utilizadas. Para o índice ID têm-se todos os indicadores expressos na unidade “horas”. No índice IS são expressos na unidade “R\$” normalizados pelo número de empregados. Requisito satisfeito.

O segundo requisito é o coeficiente de variação. Para verificar a adequação deste requisito realizou-se uma crítica estatística dos valores das tabelas 3.3 e 3.4. São utilizadas as abreviações definidas nas tabelas 3.1 e 3.2. As tabelas 3.5 e 3.6 ilustram os resultados.

Tabela 3.5: Estatística descritiva dos indicadores para o ID.

	DP	DO	RO	HDF
Média	12.942,94	253,88	19,25	2.579.305,93
Desvio padrão	8.679,46	311,96	26,80	1.156.989,86
Mediana	10.142,81	114,35	8,52	2.051.632,44
Coeficiente de variação	67,06	122,88	139,21	44,86

Tabela 3.6: Estatística descritiva dos indicadores para o IS.

	ROL	ISI	ISE	IA	FPB
Média	832,14	69,12	236,91	4,99	109,24
Desvio padrão	335,18	23,39	166,16	4,53	30,89
Mediana	739,55	64,26	196,02	3,95	101,95
Coeficiente de variação	40,28	33,84	70,14	90,83	28,27

O coeficiente de variação indica a dispersão da amostra e é expresso em porcentagem (%). É o resultado da divisão do desvio padrão pela média. Segundo a literatura, o padrão de classificação do coeficiente de variação depende de sua aplicação. Como exemplo, cita-se o coeficiente de variação obtido para os desligamentos considerados como outros (DO). O coeficiente é de 122,88 %. É um valor alto, mas não impeditivo do seu uso, pois o mesmo está relacionado a desligamentos não-gerenciáveis (aleatórios).

A próxima etapa é calcular a correlação entre os indicadores. O apêndice G apresenta a teoria do processo de cálculo da correlação. Por meio do uso de correlação é possível verificar a relação entre indicadores, ou seja, medir a força do relacionamento entre os mesmos.

Para a formação dos índices é sugerido que se verifique o nível de correlação entre os insumos e os produtos e entre variáveis do mesmo tipo. É desejável alta correlação entre os insumos e os produtos, ou seja, que exista relação entre eles. Para indicadores do mesmo tipo, insumos ou produtos, é desejável baixa correlação.

A correlação não possui a propriedade de explicar e determinar a causalidade entre as variáveis, pois é necessário conhecimento do comportamento das mesmas. Ela indica como as variáveis estão relacionadas.

É possível que exista alguma correlação entre variáveis mesmo que não significativa. Valores médios eliminam a diferença individual e podem mascarar o coeficiente de correlação. Um coeficiente significativo não indica, necessariamente, causalidade, ou seja, não é sugerido concluir que correlação indica causalidade.

Um coeficiente positivo indica que os valores baixos (ou altos) de uma variável correspondem aos valores baixos (ou altos) da outra. Já um coeficiente negativo indica que os valores baixos (ou altos) de uma variável correspondem aos valores altos (ou baixos) da outra.

Outro nível que é utilizado é o coeficiente de determinação, que mede a proporção de variações de produtos que são explicadas direta ou indiretamente pelas correspondentes variações de insumos. O coeficiente de correlação é indicado pela letra R e o coeficiente de determinação por R^2 .

A tabela 3.7 indica o critério de classificação do tipo de correlação existente entre duas variáveis pelo valor de R (Albuquerque, 2007). Para o cálculo dos coeficientes de correlação e de determinação faz-se uso de uma planilha Excel[®]. Os resultados são dispostos nas tabelas 3.8 e 3.9.

Tabela 3.7: Classificação da correlação entre indicadores.

Valor de R	Correlação
±0,00	Nula
±0,00 - ±0,30	Fraca
±0,30 – ±0,60	Média
±0,60 – ±0,90	Forte
±0,90 – ±0,99	Muito forte
±1,0	Perfeita

Tabela 3.8: Coeficiente de correlação e de determinação para os indicadores de formação do índice ID.

Coeficiente de correlação (R)					Coeficiente de determinação (R ²)				
	DP	DO	RO	HDF		DP	DO	RO	HDF
DP	1,00				DP	1,00			
DO	0,02	1,00			DO	0,00	1,00		
RO	-0,02	0,92	1,00		RO	0,00	0,85	1,00	
HDF	0,69	0,24	0,22	1,00	HDF	0,48	0,06	0,05	1,00

Tabela 3.9: Coeficiente de correlação e de determinação para os indicadores de formação do índice IS.

Coeficiente de correlação (R)						Coeficiente de determinação (R ²)					
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB		ROL	ISI	ISE	IA	FPB
ROL	1,00					ROL	1,00				
ISI	0,55	1,00				ISI	0,31	1,00			
ISE	0,28	0,07	1,00			ISE	0,08	0,01	1,00		
IA	0,44	0,16	0,54	1,00		IA	0,20	0,03	0,30	1,00	
FPB	0,33	0,42	-0,36	-0,15	1,00	FPB	0,11	0,18	0,13	0,02	1,00

A tabela 3.9 apresenta valores de correlação que permitem seu uso na formação do índice de sustentabilidade.

Já os valores encontrados na tabela 3.8 merecem um detalhamento maior. Como pode ser visto, os coeficientes de correlação entre as horas de desligamento (DP, DO e RO) e as horas disponíveis (HDF) são positivos, ou seja, um valor alto de hora de desligamento corresponde a um valor alto de hora disponível. Na prática do setor elétrico este fato causa desconfiança, pois é natural que um valor alto de horas de desligamento das funções de transmissão provoque valores baixos na disponibilidade dos ativos. Para normalizar a situação devem-se levar em conta as outras influências presentes na tabela 3.3.

É necessário considerar o número de funções de transmissão de cada concessionária, pois existe variação entre as mesmas. Além disto, na prática, o impacto de uma hora de desligamento programado (desligamento programado com antecedência onde o Sistema Interligado é preparado para sua ocorrência) não é o mesmo que o impacto de uma hora de desligamento não-programado (desligamento intempestivo que ocorre sem a preparação do Sistema Interligado). A solução aplicada é a utilização dos fatores Kp e Ko, definidos na resolução ANEEL 270/2008 e apresentados no apêndice H, como multiplicadores (constantes) dos valores de DP e DO, respectivamente. Com estas alterações a tabela 3.3 transforma-se na tabela 3.10 e seus respectivos indicadores da estatística descritiva e de correlação nas tabelas 3.11 e 3.12.

Tabela 3.10: Indicadores de intervenção no sistema para formação do índice ID após identificação de influência presente nos dados originais. *

Concessionária	Ano	Unidade	Desligamento gerenciável (h)	Desligamento não gerenciável (h)	Restrição operativa temporária (h)	Total de horas disponíveis das FT's
CEEE	2008	DMU1	117,17	650,61	0,39	7991,82
CEEE	2007	DMU2	93,41	205,22	0,14	8461,24
CEEE	2006	DMU3	156,21	300,44	0,04	8303,31
CEEE	2005	DMU4	545,28	85,71	0,05	8128,96
CEEE	2004	DMU5	463,09	28,43	0,02	8268,46
CEMIG	2008	DMU6	463,17	588,73	0,12	7707,99
CEMIG	2007	DMU7	831,00	444,46	0,30	7484,23
CEMIG	2006	DMU8	378,39	350,31	0,23	8031,06
CEMIG	2005	DMU9	426,50	118,54	0,02	8214,94

CEMIG	2004	DMU10	1036,99	0,13	0,00	7722,88
CHESF	2008	DMU11	225,98	364,23	0,22	8169,56
CHESF	2007	DMU12	399,02	86,68	0,02	8274,29
CHESF	2006	DMU13	492,03	18,60	0,01	8249,35
CHESF	2005	DMU14	362,74	71,73	0,05	8325,48
CHESF	2004	DMU15	289,35	30,09	0,01	8440,54
COPEL	2008	DMU16	249,41	131,14	0,07	8379,37
COPEL	2007	DMU17	223,47	133,83	0,04	8402,65
COPEL	2006	DMU18	277,23	67,44	0,03	8415,30
COPEL	2005	DMU19	92,84	0,63	0,00	8666,52
COPEL	2004	DMU20	147,91	0,08	0,00	8612,00
CTEEP	2008	DMU21	261,95	161,67	0,08	8336,30
CTEEP	2007	DMU22	543,99	64,97	0,04	8151,00
CTEEP	2006	DMU23	641,44	0,20	0,00	8118,36
CTEEP	2005	DMU24	607,91	5,13	0,00	8146,95
CTEEP	2004	DMU25	601,31	0,00	0,00	8158,69
ELETRONORTE	2008	DMU26	549,95	452,75	0,24	7757,05
ELETRONORTE	2007	DMU27	614,32	46,29	0,03	8099,36
ELETRONORTE	2006	DMU28	405,73	34,31	0,00	8319,95
ELETRONORTE	2005	DMU29	686,39	141,89	0,09	7931,62
ELETRONORTE	2004	DMU30	179,38	74,35	0,05	8506,21
ELETROSUL	2008	DMU31	272,09	227,33	0,12	8260,46
ELETROSUL	2007	DMU32	293,83	16,58	0,01	8449,59
ELETROSUL	2006	DMU33	310,73	62,50	0,02	8386,75
ELETROSUL	2005	DMU34	235,02	79,77	0,04	8445,16
ELETROSUL	2004	DMU35	497,58	0,13	0,00	8262,28
FURNAS	2008	DMU36	650,20	180,52	0,02	7929,26
FURNAS	2007	DMU37	683,09	32,32	0,01	8044,59
FURNAS	2006	DMU38	673,80	188,45	0,11	7897,64
FURNAS	2005	DMU39	683,89	31,11	0,01	8044,99
FURNAS	2004	DMU40	208,13	8,41	0,01	8543,45

* Após utilização dos fatores Kp (10) e Ko (150) e normalização pelo número de FT's.

Tabela 3.11: Estatística descritiva das variáveis para o ID após normalização.

	DP	DO	RO	HDF
Média	421,80	137,14	0,07	8.200,99
Desvio padrão	220,94	166,06	0,09	260,50
Mediana	402,37	73,04	0,03	8.254,91
Coefficiente de variação	52,38	121,08	132,20	3,18

Tabela 3.12: Coeficiente de correlação para os indicadores de formação do índice ID após normalização.

Coeficiente de correlação (R)					Coeficiente de determinação (R ²)				
	DP	DO	RO	HDF		DP	DO	RO	HDF
DP	1,00				DP	1,00			
DO	-0,12	1,00			DO	0,01	1,00		
RO	-0,10	0,89	1,00		RO	0,01	0,79	1,00	
HDF	-0,77	-0,58	-0,49	1,00	HDF	0,60	0,33	0,24	1,00

Pela tabela 3.12 é possível verificar comportamentos coerentes com a realidade nos indicadores para formação do índice ID. Os valores de correlação estão entre médio e forte, entre o insumo e os produtos, e as variações estão no sentido correto. Com os dois conjuntos de indicadores para formação dos índices atendendo ao critério da correlação, alcançam-se todos os pré-requisitos solicitados para concepção dos índices ID e IS. A próxima etapa é a aplicação do método DEA sem restrição aos pesos.

Na escolha do modelo a ser empregado no método DEA para conceber os índices, foi selecionado o BCC. O modelo BCC orientado para insumo com normalização pelo escore de eficiência composto é o mais adequado, pois atende às necessidades para formação dos índices e as hipóteses levantadas no estudo, além de apresentar discriminação e indicar variação de acordo com a realidade.

Para formação do índice ID foram consideradas como insumos a duração de horas dos desligamentos programados, desligamentos outros e restrições operativas. Para o produto

foi utilizado o total de horas disponíveis. Os dados foram introduzidos no programa SIAD e os valores da eficiência composta e dos pesos encontrados são dispostos na tabela 3.13. Lembrando que no método DEA não é necessária definição a priori dos pesos de cada um dos indicadores. Quando da construção da fronteira de eficiência, o DEA atribui os pesos para cada indicador de cada DMU de acordo com a forma da fronteira.

Para calcular o valor do índice de cada DMU ($\acute{I}ndice_{DMU_n}$) os pesos e a eficiência encontrados pelo DEA (tabelas 3.13 e 3.14) foram empregados em uma soma ponderada de acordo com a equação (2.11).

Os valores de p_{1n} , p_{2n} , p_{3n} e p_{4n} representam os pesos obtidos pelo DEA para cada indicador de insumo e produto. Os valores de DP_n , DO_n , RO_n e HDF_n representam os indicadores de insumo e produto utilizados para comparar as DMUs pelo método DEA (tabelas 3.4 e 3.10). O valor EC_n representa a eficiência composta normalizada para cada DMU calculada pelo método DEA. Um exemplo para a DMU_1 é apresentado na equação (2.11).

$$\begin{aligned} \acute{I}ndice_{DMU_n} &= (p_{1n} \times DP_n + p_{2n} \times DO_n + p_{3n} \times RO_n + p_{4n} \times HDF_n) \times EC_n \\ \acute{I}ndice_{DMU_1} &= (8,85 \times 117,17 + 0 \times 650,61 + 0 \times 0,39 + 0 \times 7991,83) \times 0,41 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Onde:

$\acute{I}ndice_{DMU_n}$ = índice para a DMU n ;

p_{1n} = peso do indicador DP, obtido pelo DEA, para a DMU n ;

DP_n = valor do indicador DP para a DMU n ;

p_{2n} = peso do indicador DO, obtido pelo DEA, para a DMU n ;

DO_n = valor do indicador DO para a DMU n ;

p_{3n} = peso do indicador RO, obtido pelo DEA, para a DMU n ;

RO_n = valor do indicador RO para a DMU n ;

p_{4n} = peso do indicador HDF, obtido pelo DEA, para a DMU n ;

HDF_n = valor do indicador HDF para a DMU n ;

EC_n = valor da eficiência composta normalizada obtida pela fronteira invertida.

Tabela 3.13: Pesos gerados pelo DEA e índice de disponibilidade.

Concessionária	Ano	DMU	Peso DP	Peso DO	Peso RO	Peso HDF	Eficiência*	Índice ID
CEEE	2008	DMU1	8,85	0,00	0,00	0,00	0,41	430,16
CEEE	2007	DMU2	11,10	0,00	0,00	0,00	0,85	878,83
CEEE	2006	DMU3	6,64	0,00	0,00	0,00	0,58	600,05
CEEE	2005	DMU4	1,90	0,00	0,00	0,00	0,32	329,06
CEEE	2004	DMU5	2,24	0,00	0,00	0,00	0,39	402,08
CEMIG	2008	DMU6	2,24	0,00	0,00	0,00	0,10	108,81
CEMIG	2007	DMU7	1,25	0,00	0,00	0,00	0,06	60,65
CEMIG	2006	DMU8	2,74	0,00	0,00	0,00	0,29	303,61
CEMIG	2005	DMU9	2,43	0,00	0,00	0,00	0,39	409,01
CEMIG	2004	DMU10	0,00	0,00	390000,00	0,00	0,52	15,60
CHESF	2008	DMU11	4,59	0,00	0,00	0,00	0,41	425,92
CHESF	2007	DMU12	2,60	0,00	0,00	0,00	0,42	439,26
CHESF	2006	DMU13	2,11	0,00	0,00	0,00	0,37	383,23
CHESF	2005	DMU14	2,86	0,00	0,00	0,00	0,46	473,94
CHESF	2004	DMU15	3,58	0,00	0,00	0,00	0,54	558,29
COPEL	2008	DMU16	4,16	0,00	0,00	0,00	0,56	582,55
COPEL	2007	DMU17	4,64	0,00	0,00	0,00	0,59	612,34
COPEL	2006	DMU18	3,74	0,00	0,00	0,00	0,54	563,18
COPEL	2005	DMU19	11,17	0,00	0,00	1,00	1,00	9703,50
COPEL	2004	DMU20	6,65	417,80	0,00	0,00	0,97	989,87
CTEEP	2008	DMU21	3,96	0,00	0,00	0,00	0,53	548,96
CTEEP	2007	DMU22	1,91	0,00	0,00	0,00	0,32	334,99
CTEEP	2006	DMU23	0,00	0,00	390000,00	0,00	0,72	7,39
CTEEP	2005	DMU24	0,00	0,00	390000,00	0,00	0,74	394,56
CTEEP	2004	DMU25	1,72	6132,18	0,00	0,00	0,74	770,94
ELETRONORTE	2008	DMU26	1,89	0,00	0,00	0,00	0,15	155,79
ELETRONORTE	2007	DMU27	1,69	0,00	0,00	0,00	0,28	292,10
ELETRONORTE	2006	DMU28	0,00	0,00	390000,00	0,00	0,83	1488,47
ELETRONORTE	2005	DMU29	1,51	0,00	0,00	0,00	0,21	222,56
ELETRONORTE	2004	DMU30	5,78	0,00	0,00	0,00	0,69	711,91

ELETROSUL	2008	DMU31	3,81	0,00	0,00	0,00	0,47	488,70
ELETROSUL	2007	DMU32	3,53	0,00	0,00	0,00	0,54	556,55
ELETROSUL	2006	DMU33	3,34	0,00	0,00	0,00	0,51	527,24
ELETROSUL	2005	DMU34	4,41	0,00	0,00	0,00	0,59	614,95
ELETROSUL	2004	DMU35	0,00	0,00	390000,00	0,00	0,80	24,53
FURNAS	2008	DMU36	1,59	0,00	0,00	0,00	0,23	236,21
FURNAS	2007	DMU37	1,52	0,00	0,00	0,00	0,24	251,23
FURNAS	2006	DMU38	1,54	0,00	0,00	0,00	0,21	219,22
FURNAS	2005	DMU39	1,52	0,00	0,00	0,00	0,24	251,02
FURNAS	2004	DMU40	4,98	0,00	0,00	0,00	0,65	672,47

* Composta e normalizada.

Os pesos na tabela 3.13 são obtidos diretamente pelo DEA, ou seja, não são definidos a priori e a resolução do modelo fornece a melhor combinação dos mesmos dentro da amostra de acordo com a fronteira de eficiência construída.

Empregando o mesmo processo e considerando a receita operacional líquida como insumo e os demais indicadores da tabela 3.4 como produtos é encontrado o índice de sustentabilidade para as empresas. A tabela 3.14 disponibiliza o valor do índice de sustentabilidade.

Ressalta-se, porém, a necessidade de um sentido sobre o indicador receita operacional líquida para trabalhar como insumo. O método DEA tende a minimizar os indicadores considerados como insumo e maximizar os indicadores representantes dos produtos. Logo, a interpretação é que o maior índice de sustentabilidade vai ser obtido pela empresa que conseguir os maiores valores nos indicadores socioambientais utilizando a menor receita operacional líquida, ou seja, a intenção é enfatizar as concessionárias com maior preocupação social e ambiental.

Para finalizar a etapa de formação dos índices é necessário validar os mesmos. Para validar os índices é necessário que exista correlação entre os mesmos e os indicadores utilizados em sua concepção. A tabela 3.15 apresenta o valor da correlação do índice ID com os indicadores utilizados em sua formação.

Tabela 3.14: Pesos gerados pelo DEA e índice de sustentabilidade.

Concessionária	Ano	DMU	Peso ROL	Peso ISI	Peso ISE	Peso IA	Peso FPB	Eficiência*	Índice IS
CEEE	2008	DMU1	3,50	0,00	0,00	0,86	0,99	0,72	1183,18
CEEE	2007	DMU2	3,53	0,00	0,00	0,86	1,00	0,73	1189,46
CEEE	2006	DMU3	2,54	0,00	1,25	0,02	1,07	0,94	1836,72
CEEE	2005	DMU4	2,21	0,01	1,13	0,00	0,95	0,89	1662,94
CEEE	2004	DMU5	2,24	0,01	1,14	0,00	0,96	0,98	1861,32
CEMIG	2008	DMU6	1,46	0,00	1,20	0,00	0,00	0,94	2161,13
CEMIG	2007	DMU7	1,51	1,63	0,43	0,00	0,00	0,81	1542,34
CEMIG	2006	DMU8	1,51	0,00	0,82	0,00	0,72	0,86	1793,92
CEMIG	2005	DMU9	1,67	0,00	1,02	0,00	0,00	0,89	1881,27
CEMIG	2004	DMU10	2,00	0,00	0,00	1,48	0,00	0,99	1542,31
CHESF	2008	DMU11	1,75	0,00	0,88	0,00	0,72	0,55	965,14
CHESF	2007	DMU12	2,03	0,00	1,02	0,00	0,83	0,68	1239,03
CHESF	2006	DMU13	2,29	0,00	0,86	0,00	0,00	0,63	1051,29
CHESF	2005	DMU14	2,28	0,00	0,86	0,00	0,00	0,66	1109,94
CHESF	2004	DMU15	2,02	0,00	0,76	0,00	0,00	0,43	705,72
COPEL	2008	DMU16	2,38	0,29	1,10	0,00	0,00	0,73	1441,07
COPEL	2007	DMU17	2,23	0,28	1,03	0,00	0,00	0,70	1370,59
COPEL	2006	DMU18	2,10	0,00	1,07	0,00	0,88	0,83	1725,97
COPEL	2005	DMU19	2,14	0,01	1,09	0,00	0,89	0,83	1685,12
COPEL	2004	DMU20	2,18	0,27	1,01	0,00	0,00	0,90	1735,64
CTEEP	2008	DMU21	1,29	0,00	0,67	0,00	0,56	0,40	710,68
CTEEP	2007	DMU22	1,40	0,00	1,73	0,00	2,57	0,73	1822,02
CTEEP	2006	DMU23	2,51	0,00	0,00	0,00	1,00	0,73	1260,41
CTEEP	2005	DMU24	3,24	0,11	0,00	0,85	1,05	0,70	1163,54
CTEEP	2004	DMU25	3,41	0,00	0,00	0,00	0,86	0,73	1201,22
ELETRONORTE	2008	DMU26	1,49	1,88	0,00	0,00	0,00	0,94	1647,25
ELETRONORTE	2007	DMU27	1,37	0,97	0,00	0,56	0,49	0,71	1177,34
ELETRONORTE	2006	DMU28	1,16	1,51	0,00	0,94	0,00	0,83	1394,05
ELETRONORTE	2005	DMU29	1,00	0,61	0,00	0,39	0,48	0,32	512,78
ELETRONORTE	2004	DMU30	1,02	0,62	0,00	0,40	0,49	0,28	456,19

ELETROSUL	2008	DMU31	3,78	1,48	0,00	0,00	1,53	0,99	1794,28
ELETROSUL	2007	DMU32	4,05	0,00	0,00	0,00	0,21	1,00	1545,03
ELETROSUL	2006	DMU33	3,79	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80	1242,30
ELETROSUL	2005	DMU34	4,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	1116,51
ELETROSUL	2004	DMU35	3,65	0,00	0,41	0,00	0,00	0,66	1025,68
FURNAS	2008	DMU36	1,25	0,76	0,00	0,49	0,60	0,75	1293,90
FURNAS	2007	DMU37	1,27	0,85	0,00	0,46	0,63	0,84	1452,22
FURNAS	2006	DMU38	1,17	8,71	0,00	0,00	3,16	0,73	2191,26
FURNAS	2005	DMU39	1,21	0,78	0,24	0,36	0,66	0,60	1050,75
FURNAS	2004	DMU40	1,15	0,80	0,00	0,47	0,47	0,43	714,21

* Composta e normalizada.

Tabela 3.15: Coeficiente de correlação para o índice ID.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	-0,12	1,00			
RO	-0,10	0,89	1,00		
HDF	-0,77	-0,54	-0,48	1,00	
ID	-0,35	-0,17	-0,15	0,41	1,00

Os sinais de variação na tabela 3.15 mostram que os indicadores de Desligamento Programado, Desligamento Outros e Restrição Operativa têm correlação negativa com o Índice de Disponibilidade. O indicador Horas Disponíveis da Função possui correlação positiva com o Índice de Disponibilidade. Os maiores valores de correlação do Índice de Disponibilidade ocorrem com os indicadores Desligamento Programado e Horas Disponíveis da Função. Esses comportamentos são validados na prática e confirmam a validade do índice ID.

Na tabela 3.15, verifica-se que os desligamentos programados possuem uma grande influência na disponibilidade das concessionárias. Isto demonstra a força deste indicador na disponibilidade das empresas. Fato interessante, pois o mesmo é gerenciável e

relacionado com os custos de manutenção, tornando-se ferramenta importante na busca pela excelência nos resultados.

A tabela 3.16 indica a correlação do Índice de Sustentabilidade com suas variáveis de formação.

Tabela 3.16: Coeficiente de correlação para o índice IS.

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	0,55	1,00				
ISE	0,28	0,07	1,00			
IA	0,44	0,16	0,54	1,00		
FPB	0,33	0,42	-0,36	-0,15	1,00	
IS	-0,17	0,23	0,48	0,19	0,07	1,00

Os sinais de variação na tabela 3.16 apontam que o indicador da Receita Operacional Líquida tem correlação negativa com o Índice de Sustentabilidade, ou seja, quanto maior a ROL menor o índice. Esse comportamento está de acordo com a hipótese assumida, pois a Receita Operacional Líquida foi considerada um insumo e o método DEA minimiza os insumos e maximiza os produtos. O objetivo do Índice de Sustentabilidade é identificar as empresas que possuem os maiores indicadores do balanço social.

Os indicadores Sociais Internos, Sociais Externos, Ambientais e a Folha de Pagamento Bruta possuem correlação positiva com o Índice de Sustentabilidade, ou seja, quanto maior esses valores, maior o índice. Novamente o comportamento da correlação entre os indicadores e o índice formado é validado na prática e confirmam a validade do índice IS.

Recorrendo à literatura sobre formação de índices, Miranda (2008) criou o índice LOED (sua criação surgiu dentro do Laboratório de Observações e Estudos Descritivos - LOED da Faculdade de educação da UNICAMP) que foi calculado utilizando indicadores como o número total de alunos, o número de alunos retidos, transferidos e evadidos para auxiliar na comparação de eficiência das escolas municipais de Campinas. Para validar o índice LOED, Miranda (2008) calculou a correlação entre os indicadores geradores e o índice

obtendo os seguintes valores: -0,07, -0,19, -0,25 e -0,46. Os valores de correlação obtidos nos índices ID e IS são compatíveis com os valores obtidos pelo índice LOED.

As relações de correlação entre os índices construídos e os indicadores utilizados validam sua aplicação. Os índices desenvolvidos compactaram nove variáveis em dois números mantendo as informações e contribuições originais das mesmas. A metodologia de formação de índice é utilizada na tese de forma pioneira no Setor Elétrico. O índice de disponibilidade faz uma estimativa da qualidade técnica das empresas e o índice de sustentabilidade da qualidade social e ambiental. O apêndice I apresenta os valores de correlação dos indicadores para cada uma das empresas.

3.3 – SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

Antes de iniciar o uso do método DEA que indicará o percentual de eficiência de cada concessionária de transmissão, existe mais um passo, a seleção de variáveis. Após a concepção dos índices de sustentabilidade e disponibilidade, o conjunto de possibilidades passou de 14 para 7 indicadores: PMS (Pessoal, Material e Serviços), extensão das linhas de transmissão, capacidade de transformação, quantidade de transformadores, quantidade de módulos, índice de disponibilidade e índice de sustentabilidade. É ponderado agora quais dos sete indicadores são relevantes e apropriados para avaliar a eficiência relativa das unidades.

Como auxílio é empregado o método I-O *stepwise* exaustivo completo. Optando pelo PMS como insumo e as demais variáveis como produto, é calculada a eficiência média do conjunto de unidades de produção para cada relação entre o insumo e os produtos. Foi utilizado o programa SIAD com um modelo BCC. A tabela 3.17 apresenta os resultados. A escolha do modelo BCC para executar a seleção de variáveis segue a definição padrão da tese.

Tabela 3.17: Eficiência média (%) da amostra para relação individual entre o insumo e cada produto.

LT	MVA	TR	MOD	ID	IS
64,63	60,70	50,15	50,59	40,27	42,00

O par insumo-produto com maior eficiência média é o PMS e o comprimento das linhas de transmissão, sendo esta a dupla inicial da seleção. É acrescentado sucessivamente cada um dos produtos ao par original e simulado o modelo BCC para o novo conjunto, sendo excluídas aquelas variáveis que contribuem minimamente para modificação do escore médio de eficiência.

A tabela 3.18 aponta as mudanças no escore de eficiência de acordo com a contribuição de cada produto. O par inicial significa um insumo (PMS) e um produto (LT), o Conjunto 1 é formado pelo acréscimo do produto (MVA), o Conjunto 2 pelo acréscimo do produto (TR), o Conjunto 3 pelo acréscimo do produto (MOD), o Conjunto 4 pelo acréscimo do produto (ID) e o Conjunto 5 pelo acréscimo do produto (IS).

Tabela 3.18: Alteração no escore de eficiência média (%) do par original de acordo com a inclusão dos demais produtos.

Par inicial: PMS-LT	Conjunto 1: Par inicial mais MVA	Conjunto 2: Conjunto 1 mais TR	Conjunto 3: Conjunto 2 mais MOD	Conjunto 4: Conjunto 3 mais ID	Conjunto 5: Conjunto 4 mais IS
64,63	72,69	72,74	72,88	74,29	78,66

Pela tabela 3.18 foram excluídos os indicadores denominados por quantidade de transformadores (variação da eficiência média entre o Conjunto 1 e Conjunto 2 de 0,05%) e quantidade de módulos de manobra (variação da eficiência média entre o Conjunto 2 e Conjunto 3 de 0,14%) pois os dois têm pouca representatividade (agregam reduzida alteração na eficiência média) no escore de eficiência média e consequentemente na avaliação, podendo ser removidos (o acréscimo no valor da eficiência média não é significativo) e contribuir com a melhoria na discriminação do método DEA.

Finalmente, chega-se ao conjunto utilizado para comparar as empresas de transmissão de energia elétrica. A formação é composta pelos indicadores PMS (Pessoal, Material e Serviços), LT (comprimento Linhas de Transmissão) e MVA (capacidade de transformação), além dos índices ID (Índice de Disponibilidade) e IS (Índice de Sustentabilidade). A tabela 3.19 apresenta os valores.

Tabela 3.19: Variáveis para uso no método DEA

Concessionária	Ano	DMU	PMS*	LT (km)*	MVA*	ID**	IS***
CEEE	2008	DMU1	129.027.832,53	6.307,24	7.524,90	430,16	1183,18
CEEE	2007	DMU2	126.158.992,39	6.289,24	7.092,90	878,83	1189,46
CEEE	2006	DMU3	111.744.071,27	6.283,24	7.067,90	600,05	1836,72
CEEE	2005	DMU4	104.015.645,93	6.271,24	6.992,90	329,06	1662,94
CEEE	2004	DMU5	90.622.615,75	6.247,91	6.992,90	402,08	1861,32
CEMIG	2008	DMU6	149.005.295,72	5.968,86	14.644,30	108,81	2161,13
CEMIG	2007	DMU7	134.522.376,19	5.958,06	14.644,30	60,65	1542,34
CEMIG	2006	DMU8	162.521.840,95	5.946,06	14.644,30	303,61	1793,92
CEMIG	2005	DMU9	148.007.140,03	5.946,06	14.644,30	409,01	1881,27
CEMIG	2004	DMU10	124.289.370,87	5.945,66	14.644,30	15,60	1542,31
CHESF	2008	DMU11	525.145.782,69	20.141,24	32.149,00	425,92	965,14
CHESF	2007	DMU12	491.145.481,96	20.141,24	30.899,00	439,26	1239,03
CHESF	2006	DMU13	366.086.693,42	20.141,24	30.339,00	383,23	1051,29
CHESF	2005	DMU14	417.485.807,39	20.140,54	29.089,00	473,94	1109,94
CHESF	2004	DMU15	391.835.571,85	20.091,64	28.289,00	558,29	705,72
COPEL	2008	DMU16	82.881.183,74	1.719,38	9.938,00	582,55	1441,07
COPEL	2007	DMU17	103.176.415,37	7.250,90	20.267,70	612,34	1370,59
COPEL	2006	DMU18	124.427.981,27	7.171,50	19.817,70	563,18	1725,97
COPEL	2005	DMU19	125.608.326,52	7.169,90	19.067,70	9.703,50	1685,12
COPEL	2004	DMU20	144.335.029,52	7.149,60	18.342,70	989,87	1735,64
CTEEP	2008	DMU21	269.136.043,53	18.609,13	53.225,35	548,96	710,68
CTEEP	2007	DMU22	354.008.928,30	18.578,48	51.887,02	334,99	1822,02
CTEEP	2006	DMU23	679.528.272,56****	18.534,48	49.202,69	7,39	1260,41
CTEEP	2005	DMU24	668.199.422,77	18.300,53	46.508,69	394,56	1163,54
CTEEP	2004	DMU25	672.405.273,74	18.300,53	46.508,69	770,94	1201,22
ELETRONORTE	2008	DMU26	518.956.499,29	7.874,60	16.088,88	155,79	1647,25
ELETRONORTE	2007	DMU27	391.920.504,46	7.874,60	15.248,88	292,10	1177,34
ELETRONORTE	2006	DMU28	342.039.850,09	7.794,60	14.408,88	1.488,47	1394,05
ELETRONORTE	2005	DMU29	339.999.530,85	7.794,60	14.408,88	222,56	512,78
ELETRONORTE	2004	DMU30	316.976.704,24	7.794,60	14.408,88	711,91	456,19

ELETROSUL	2008	DMU31	275.831.021,78	10.945,22	23.559,80	488,70	1794,28
ELETROSUL	2007	DMU32	270.386.061,45	10.776,22	22.437,80	556,55	1545,03
ELETROSUL	2006	DMU33	256.705.383,28	10.719,02	20.847,80	527,24	1242,30
ELETROSUL	2005	DMU34	215.315.788,67	10.702,72	18.069,80	614,95	1116,51
ELETROSUL	2004	DMU35	211.121.467,64	10.649,50	17.799,80	24,53	1025,68
FURNAS	2008	DMU36	726.743.872,90	19.120,90	83.705,13	236,21	1293,90
FURNAS	2007	DMU37	748.131.620,31	19.120,90	83.705,13	251,23	1452,22
FURNAS	2006	DMU38	663.067.934,73	19.120,70	82.205,13	219,22	2191,26
FURNAS	2005	DMU39	595.696.538,60	19.120,50	80.195,13	251,02	1050,75
FURNAS	2004	DMU40	479.613.932,65	18.748,50	77.261,83	672,47	714,21

*Apêndice B, **Tabela 3.13, ***Tabela 3.14, **** O valor do PMS gasto com o Plano de Demissão Voluntária foi considerado investimento em concordância com o processo de Revisão Tarifária.

3.4 – MÉTODO DEA

Este tópico é onde, após a preparação das variáveis, é aplicado o método DEA para comparar a eficiência relativa das empresas. O modelo aplicado é o BCC (retorno de escala variável) e seu uso é justificado, de acordo com Banker et al. (1984), pois tem a característica de se aproximar mais da realidade do que o modelo CCR (retorno de escala constante).

A escolha do modelo BCC foi feita devido ao fato de o modelo CCR ser só apropriado quando todas as empresas estão operando na escala ótima. Imperfeições de mercado e outras características podem causar a não operação da concessionária em escala ótima. Outro ponto é a própria característica do banco de dados, onde não se percebe uma uniformidade entre as escalas de produção das unidades.

O processo utilizado foi padrão até a introdução da fronteira invertida para melhorar a discriminação das DMUs. Os pontos chaves na aplicação do método DEA são seguidos, depois do escore padrão de eficiência ser encontrado, o escore invertido é calculado e a eficiência composta identifica as DMUs que são eficientes naquilo em que são referências e apresentam desempenho não tão ruim naquilo que não são referências.

3.4.1 – Definição dos insumos e produtos

Os cinco indicadores selecionados (PMS, comprimento das linhas de transmissão, capacidade de transformação, índice de disponibilidade e índice de sustentabilidade) são reconhecidamente utilizados como parâmetros de desempenho das transmissoras. A finalidade foi delimitar um conjunto de variáveis adequado para distinguir a função de produção de uma concessionária de transmissão de energia elétrica e de influenciar, positiva ou negativamente, na medida de eficiência de cada uma das companhias. Além da experiência de especialistas do setor foi utilizada técnica não-subjetiva (seleção de variáveis) para chegar ao conjunto final.

A composição do grupo, considerado no presente trabalho como possuidor da particularidade mencionada no parágrafo anterior, é descrita a seguir:

- 01 indicador econômico: PMS (custos gerenciáveis, capacidade de gerenciamento para amoldar as despesas dentro de faixas aceitáveis e lucrativas);
- 03 indicadores técnicos: comprimento de LT (dimensão de ativos do parque produtor); capacidade de transformação (dimensão de ativos do parque produtor); índice de disponibilidade (ligado diretamente à qualidade do serviço de transmissão);
- 01 índice de sustentabilidade (visão socioambiental. É inadmissível o ganho de eficiência com a perda de sustentabilidade).

O PMS é considerado como insumo. É o gasto feito pelas empresas para operar e manter seu parque industrial. O mesmo é necessário para alimentar a estrutura de produção e propiciar os indicadores dos produtos dentro dos objetivos delineados por cada empresa. É um indicador do tipo quanto menor melhor.

As demais variáveis são classificadas como produtos, pois o consumidor (Sistema Interligado Nacional, grandes consumidores, sociedade em geral) percebe-os espontaneamente e a estrutura de produção das concessionárias tenta maximizar a eficiência destes números. São indicadores do tipo quanto maior melhor.

A orientação do modelo escolhida é para insumo. A intenção é encontrar o menor valor de PMS que maximiza a eficiência de determinada DMU, mantendo-se os produtos constantes.

3.4.2 – Comparação da eficiência

O grau de eficiência relativa é obtido com a utilização do modelo BCC por meio do programa SIAD. A ordenação dos valores é desenvolvida com os dados em painel, considerando os insumos e produtos definidos, entre os anos de 2004 e 2008. O arquivo de entrada é disposto na figura 3.2.

```

Final.txt
40      1      4
DMU     Input1 Output1 Output2 Output3 Output4
DMU1   129027832.53 6307.24 7524.90 430.16 1183.18
DMU2   126158992.39 6289.24 7092.90 878.83 1189.46
DMU3   111744071.27 6283.24 7067.90 600.05 1836.72
DMU4   104015645.93 6271.24 6992.90 329.06 1662.94
DMU5   90622615.75 6247.91 6992.90 402.08 1861.32
DMU6   149005295.72 5968.86 14644.30 108.81 2161.13
DMU7   134522376.19 5958.06 14644.30 60.65 1542.34
DMU8   162521840.95 5946.06 14644.30 303.61 1793.92
DMU9   148007140.03 5946.06 14644.30 409.01 1881.27
DMU10  124289370.87 5945.66 14644.30 15.60 1542.31
DMU11  525145782.69 20141.24 32149.00 425.92 965.14
DMU12  491145481.96 20141.24 30899.00 439.26 1239.03
DMU13  366086693.42 20141.24 30339.00 383.23 1051.29
DMU14  417485807.39 20140.54 29089.00 473.94 1109.94
DMU15  391835571.85 20091.64 28289.00 558.29 705.72
DMU16  82881183.74 1719.38 9938.00 582.55 1441.07
DMU17  103176415.37 7250.90 20267.70 612.34 1370.59
DMU18  124427981.27 7171.50 19817.70 563.18 1725.97
DMU19  125608326.52 7169.90 19067.70 9703.50 1685.12
DMU20  144335029.52 7149.60 18342.70 989.87 1735.64
DMU21  269136043.53 18609.13 53225.35 548.96 710.68
DMU22  354008928.30 18578.48 51887.02 334.99 1822.02
DMU23  679528272.56 18534.48 49202.69 7.39 1260.41
DMU24  668199422.77 18300.53 46508.69 394.56 1163.54
DMU25  672405273.74 18300.53 46508.69 770.94 1201.22
DMU26  518956499.29 7874.60 16088.88 155.79 1647.25
DMU27  391920504.46 7874.60 15248.88 292.10 1177.34
DMU28  342039850.09 7794.60 14408.88 1488.47 1394.05
DMU29  339999530.85 7794.60 14408.88 222.56 512.78
DMU30  316976704.24 7794.60 14408.88 711.91 456.19
DMU31  275831021.78 10945.22 23559.80 488.70 1794.28
DMU32  270386061.45 10776.22 22437.80 556.55 1545.03
DMU33  256705383.28 10719.02 20847.80 527.24 1242.30
DMU34  215315788.67 10702.72 18069.80 614.95 1116.51
DMU35  211121467.64 10649.50 17799.80 24.53 1025.68
DMU36  726743872.90 19120.90 83705.13 236.21 1293.90
DMU37  748131620.31 19120.90 83705.13 251.23 1452.22
DMU38  663067934.73 19120.70 82205.13 219.22 2191.26
DMU39  595696538.60 19120.50 80195.13 251.02 1050.75
DMU40  479613932.65 18748.50 77261.83 672.47 714.21

```

Figura 3.2 – Arquivo de entrada do programa.

No arquivo a disposição é: PMS, LT, MVA, ID e IS. Outro detalhe que aparece na entrada de dados é a necessidade de utilização do ponto, no lugar da vírgula, como separador decimal.

A figura 3.3 aponta a configuração dos atributos que o SIAD necessita para solucionar o modelo. Neste caso, modelo de retornos variáveis de escala (BCC), orientação para insumos e sem restrição de peso. A figura 3.4 contém a parte do arquivo de saída necessária para a ordenação da eficiência relativa. A tabela 3.20 indica os escores calculados.

Entrada de Dados

Matriz de Dados

DMU	Input1	Output1	Output2	Output3	Output4
DMU1	1,2902783E8	6.307,2400	7.524,9000	430,1600	1.183,1800
DMU2	1,2615899E8	6.289,2400	7.092,9000	878,8300	1.189,4600
DMU3	1,1174407E8	6.283,2400	7.067,9000	600,0500	1.836,7200
DMU4	1,0401565E8	6.271,2400	6.992,9000	329,0600	1.662,9400
DMU5	90.622.616,00	6.247,9100	6.992,9000	402,0800	1.861,3200
DMU6	1,490053E8	5.968,8600	14.644,3000	108,8100	2.161,1300
DMU7	1,3452238E8	5.958,0600	14.644,3000	60,650000	1.542,3400
DMU8	1,6252184E8	5.946,0600	14.644,3000	303,6100	1.793,9200
DMU9	1,4800714E8	5.946,0600	14.644,3000	409,0100	1.881,2700
DMU10	1,2428937E8	5.945,6600	14.644,3000	15,600000	1.542,3100
DMU11	5,2514578E8	20.141,2400	32.149,0000	425,9200	965,140000
DMU12	4,9114548E8	20.141,2400	30.899,0000	439,2600	1.239,0300

BCC (VRS)
Input
Nenhum

Editor Salvar Cancelar Calcular Multicritério

Figura 3.3 - Configuração dos atributos para uso do SIAD.

Resultados

Eficiência modelo BCC, orientação input

DMU	Padrão
DMU1	0,708417
DMU2	0,732448
DMU3	0,819331
DMU4	0,874048
DMU5	1,000000
DMU6	1,000000
DMU7	0,718371
DMU8	0,689950
DMU9	0,816956
DMU10	0,777508
DMU11	1,000000
DMU12	1,000000
DMU13	1,000000
DMU14	1,000000

Fronteira Invertida
Fronteira padrão
Pesos
Benchmarks
Alvos e Folgas
Voltar Salvar

Figura 3.4 – Arquivo de saída do SIAD.

Tabela 3.20: Escores de eficiência obtidos para as variáveis da tabela 3.19.

Concessionária	Ano	DMU	Eficiência relativa
CEEE	2008	DMU1	70,84
CEEE	2007	DMU2	73,24
CEEE	2006	DMU3	81,93
CEEE	2005	DMU4	87,40
CEEE	2004	DMU5	100,00
CEMIG	2008	DMU6	100,00
CEMIG	2007	DMU7	71,84
CEMIG	2006	DMU8	69,00
CEMIG	2005	DMU9	81,70
CEMIG	2004	DMU10	77,75
CHESF	2008	DMU11	100,00
CHESF	2007	DMU12	100,00
CHESF	2006	DMU13	100,00
CHESF	2005	DMU14	100,00
CHESF	2004	DMU15	100,00
COPEL	2008	DMU16	100,00
COPEL	2007	DMU17	100,00
COPEL	2006	DMU18	100,00
COPEL	2005	DMU19	100,00
COPEL	2004	DMU20	84,11
CTEEP	2008	DMU21	100,00
CTEEP	2007	DMU22	100,00
CTEEP	2006	DMU23	45,60
CTEEP	2005	DMU24	44,50
CTEEP	2004	DMU25	45,16
ELETRONORTE	2008	DMU26	22,67
ELETRONORTE	2007	DMU27	28,65
ELETRONORTE	2006	DMU28	33,20
ELETRONORTE	2005	DMU29	32,68

ELETRONORTE	2004	DMU30	35,14
ELETROSUL	2008	DMU31	67,89
ELETROSUL	2007	DMU32	60,84
ELETROSUL	2006	DMU33	60,07
ELETROSUL	2005	DMU34	71,37
ELETROSUL	2004	DMU35	72,39
FURNAS	2008	DMU36	100,00
FURNAS	2007	DMU37	100,00
FURNAS	2006	DMU38	100,00
FURNAS	2005	DMU39	100,00
FURNAS	2004	DMU40	100,00
		Média	70,84

Na tabela 3.20 aparecem 18 DMUs com eficiência 100 %, ou seja, quase metade delas são consideradas pertencentes à fronteira. Os números apresentados não são absolutos, mas medidas de eficiência percentual relativa à maior eficiência que alguma DMU da amostra tenha alcançado.

Neste ponto cabe a pergunta: Pode-se melhorar a discriminação destes escores? A resposta é simples: Sim. Aplica-se o conceito de fronteira invertida. O escore de eficiência invertida é calculado por meio da troca de posição entre os insumos com os produtos. O valor da eficiência composta é calculado utilizando a equação 2.9 e a eficiência composta é normalizada pelo maior valor obtido. Os novos resultados dos escores de eficiência compostos normalizados são dispostos na tabela 3.21.

É visível o poder discriminante da fronteira invertida. Após a sua utilização, apenas uma DMU é considerada 100% eficiente, ou seja, é eficiente naquilo que ela possui de excelência e não possui desempenho ruim nas outras variáveis.

O emprego da fronteira invertida fornece uma análise mais detalhada sobre a comparação da eficiência. O valor médio de eficiência passou de 77,95% para 56,69%, resultado de uma maior discriminação.

Tabela 3.21: Escores de eficiência composta obtidos para as variáveis da tabela 3.19.

Concessionária	Ano	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta normalizada
CEEE	2008	DMU1	70,84	100,00	35,42	40,18
CEEE	2007	DMU2	73,24	100,00	36,62	41,54
CEEE	2006	DMU3	81,93	96,27	42,83	48,59
CEEE	2005	DMU4	87,40	100,00	43,70	49,57
CEEE	2004	DMU5	100,00	100,00	50,00	56,72
CEMIG	2008	DMU6	100,00	69,23	65,39	74,17
CEMIG	2007	DMU7	71,84	80,57	45,63	51,76
CEMIG	2006	DMU8	69,00	42,51	63,24	71,74
CEMIG	2005	DMU9	81,70	38,71	71,49	81,10
CEMIG	2004	DMU10	77,75	100,00	38,88	44,10
CHESF	2008	DMU11	100,00	98,16	50,92	57,76
CHESF	2007	DMU12	100,00	86,74	56,63	64,24
CHESF	2006	DMU13	100,00	68,48	65,76	74,59
CHESF	2005	DMU14	100,00	78,16	60,92	69,10
CHESF	2004	DMU15	100,00	88,60	55,70	63,18
COPEL	2008	DMU16	100,00	100,00	50,00	56,72
COPEL	2007	DMU17	100,00	23,69	88,16	100,00
COPEL	2006	DMU18	100,00	26,52	86,74	98,39
COPEL	2005	DMU19	100,00	26,78	86,61	98,24
COPEL	2004	DMU20	84,11	30,87	76,62	86,92
CTEEP	2008	DMU21	100,00	58,37	70,82	80,33
CTEEP	2007	DMU22	100,00	51,69	74,15	84,12
CTEEP	2006	DMU23	45,60	100,00	22,80	25,86
CTEEP	2005	DMU24	44,50	100,00	22,25	25,24
CTEEP	2004	DMU25	45,16	100,00	22,58	25,61
ELETRONORTE	2008	DMU26	22,67	100,00	11,33	12,86
ELETRONORTE	2007	DMU27	28,65	89,22	19,72	22,36
ELETRONORTE	2006	DMU28	33,20	79,78	26,71	30,30
ELETRONORTE	2005	DMU29	32,68	100,00	16,34	18,54

ELETRONORTE	2004	DMU30	35,14	100,00	17,57	19,93
ELETROSUL	2008	DMU31	67,89	49,55	59,17	67,12
ELETROSUL	2007	DMU32	60,84	49,17	55,83	63,33
ELETROSUL	2006	DMU33	60,07	51,98	54,05	61,31
ELETROSUL	2005	DMU34	71,37	47,29	62,04	70,37
ELETROSUL	2004	DMU35	72,39	100,00	36,20	41,06
FURNAS	2008	DMU36	100,00	100,00	50,00	56,72
FURNAS	2007	DMU37	100,00	100,00	50,00	56,72
FURNAS	2006	DMU38	100,00	89,71	55,15	62,55
FURNAS	2005	DMU39	100,00	97,97	51,02	57,87
FURNAS	2004	DMU40	100,00	100,00	50,00	56,72

3.4.3 – Aplicação da Envolvória sob dupla ótica

Tanto nos valores de eficiência obtidos pelo método DEA clássico (tabela 3.20) como pela fronteira invertida (tabela 3.21) ocorre um desvio considerável. Na eficiência composta os extremos alcançam escores entre 12,86% e 100%. Na análise com o modelo BCC padrão, os valores variam entre 22,67% e 100%.

Este tipo de comportamento não é desejado. Podem-se citar diversas hipóteses para a dispersão indicada nos escores de eficiência: presença de *outliers*, um grupo não-homogêneo, variáveis externas que influenciam o desempenho de cada uma das concessionárias, imperfeições do mercado ou o próprio comportamento das unidades. É sugerida a aplicação da envoltória sob dupla ótica e o cálculo do IDRF para verificar, diagnosticar e propor uma solução para o mesmo.

A primeira etapa é calcular o IDRF para os escores da tabela 3.21. É utilizada a equação (2.10) e os resultados são apresentados na tabela 3.22.

O valor máximo de IDRF chega a 126,09% em contraste com o valor mínimo, 0,00%. A média encontra-se em 58,76% com desvio de 45,56%. Os números indicam uma dispersão considerável entre as distâncias das fronteiras padrão e invertida.

Tabela 3.22: IDRf (%) calculado para os escores de eficiência.

Concessionária	Ano	DMU	Padrão	Invertida	IDRF
CEEE	2008	DMU1	70,84	100,00	34,13
CEEE	2007	DMU2	73,24	100,00	30,89
CEEE	2006	DMU3	81,93	96,27	23,62
CEEE	2005	DMU4	87,40	100,00	13,44
CEEE	2004	DMU5	100,00	100,00	0,00
CEMIG	2008	DMU6	100,00	69,23	36,37
CEMIG	2007	DMU7	71,84	80,57	53,36
CEMIG	2006	DMU8	69,00	42,51	109,29
CEMIG	2005	DMU9	81,70	38,71	103,89
CEMIG	2004	DMU10	77,75	100,00	25,03
CHESF	2008	DMU11	100,00	98,16	1,86
CHESF	2007	DMU12	100,00	86,74	14,20
CHESF	2006	DMU13	100,00	68,48	37,41
CHESF	2005	DMU14	100,00	78,16	24,52
CHESF	2004	DMU15	100,00	88,60	12,09
COPEL	2008	DMU16	100,00	100,00	0,00
COPEL	2007	DMU17	100,00	23,69	123,40
COPEL	2006	DMU18	100,00	26,52	116,15
COPEL	2005	DMU19	100,00	26,78	115,51
COPEL	2004	DMU20	84,11	30,87	117,55
CTEEP	2008	DMU21	100,00	58,37	52,57
CTEEP	2007	DMU22	100,00	51,69	63,69
CTEEP	2006	DMU23	45,60	100,00	74,73
CTEEP	2005	DMU24	44,50	100,00	76,82
CTEEP	2004	DMU25	45,16	100,00	75,56
ELETRONORTE	2008	DMU26	22,67	100,00	126,09
ELETRONORTE	2007	DMU27	28,65	89,22	118,57
ELETRONORTE	2006	DMU28	33,20	79,78	116,24
ELETRONORTE	2005	DMU29	32,68	100,00	101,47
ELETRONORTE	2004	DMU30	35,14	100,00	95,99

ELETROSUL	2008	DMU31	67,89	49,55	99,31
ELETROSUL	2007	DMU32	60,84	49,17	107,90
ELETROSUL	2006	DMU33	60,07	51,98	104,83
ELETROSUL	2005	DMU34	71,37	47,29	99,06
ELETROSUL	2004	DMU35	72,39	100,00	32,03
FURNAS	2008	DMU36	100,00	100,00	0,00
FURNAS	2007	DMU37	100,00	100,00	0,00
FURNAS	2006	DMU38	100,00	89,71	10,85
FURNAS	2005	DMU39	100,00	97,97	2,05
FURNAS	2004	DMU40	100,00	100,00	0,00

Para complementar a análise aplica-se a metodologia Envoltória sob Dupla Ótica com o objetivo de identificar o conjunto competitivo. Como é a primeira vez que se utiliza este conceito no setor elétrico são sugeridos três patamares de IDRF máximo: 110%, 85% e 60% para qualquer unidade. O patamar de 60% foi escolhido por representar aproximadamente a metade do valor máximo original, ou seja, representa uma boa variação do IDRF. Os demais patamares foram escolhidos por uma distribuição equidistante do acréscimo de 25% ao patamar mínimo. Com isso é disponibilizado para as partes interessadas opções para negociação e consequente análise da sensibilidade dos resultados.

O próximo passo consiste em retirar sucessivamente as DMUs eficientes em relação a cada fronteira, formadoras das camadas mais externas, até se obter o último patamar. Existe outra condição em que o algoritmo é finalizado; se a quantidade de DMUs atingir um valor mínimo. De acordo com Lins e Meza (2000) ocorre a definição deste valor mínimo de duas maneiras: o número de DMUs deve ser 3 ou 5 vezes o número de cada relação insumo-produto. Têm-se quatro relações e utilizando o valor mais conservador o número mínimo de DMUs são 20 unidades. Assim o algoritmo é interrompido quando atinge o último patamar ou o valor mínimo de unidades.

As DMUs são extraídas das camadas externas em pares, ou seja, uma para cada ótica. Identificam-se as DMUs que são referências para as demais. Dentro do conjunto formado é selecionada a DMU com maior score de referência para as demais unidades. Este score

indica a força da DMU na formação dos valores eficientes das variáveis utilizadas na análise e fornece o esqueleto para arquitetar a relação entre os insumos e produtos das unidades abaixo da fronteira.

O processo sucessivo de remoção das unidades para amortizar a distância entre as fronteiras foi executado com o auxílio do modelo BCC. Após nove estágios o modelo parou pelo critério de atingir o último dos três patamares (passou a barreira do IDRF máximo de 60%). A Tabela 3.23 mostra o procedimento aplicado.

Tabela 3.23: Procedimento EDO empregado.

Estágio 1	
Conjunto original	40 DMUs
IDRF máximo	126,09 %
IDRF médio	58,76 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	COPEL em 2007
Removido ótica inversa	ELETRONORTE em 2008
Estágio 2	
Conjunto central	38 DMUs
IDRF máximo	105,99 %
IDRF médio	46,90 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	CEEE em 2004
Removido ótica inversa	ELETRONORTE em 2007
Estágio 3	
Conjunto central	36 DMUs
IDRF máximo	91,77 %
IDRF médio	40,91 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	CTEEP em 2008
Removido ótica inversa	ELETRONORTE em 2005
Estágio 4	
Conjunto central	34 DMUs

IDRF máximo	87,15 %
IDRF médio	34,72 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	COPEL em 2006
Removido ótica inversa	ELETRONORTE em 2004
Estágio 5	
Conjunto central	32 DMUs
IDRF máximo	86,85 %
IDRF médio	28,30 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	COPEL em 2005
Removido ótica inversa	CHESF em 2008
Estágio 6	
Conjunto central	30 DMUs
IDRF máximo	69,99 %
IDRF médio	19,68 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	CEEE em 2005
Removido ótica inversa	CTEEP em 2006
Estágio 7	
Conjunto central	28 DMUs
IDRF máximo	69,27 %
IDRF médio	17,34 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	CEEE em 2006
Removido ótica inversa	CEMIG em 2008
Estágio 8	
Conjunto central	26 DMUs
IDRF máximo	69,27 %
IDRF médio	17,32 %
Critério de corte	Maior escore de referência
Removido ótica padrão	COPEL em 2004
Removido ótica inversa	CTEEP em 2005

Estágio 9	
Conjunto central	24 DMUs
IDRF máximo	47,62 %
IDRF médio	17,56%

O último conjunto competitivo é composto por 24 unidades e um IDRf máximo de 47,62%. Como pode ser verificado o algoritmo foi interrompido pelo critério do último patamar (passou a barreira do IDRf máximo de 60%). Se o mesmo continuasse o valor do IDRf máximo iria manter sua tendência de modificação.

Após a identificação dos conjuntos, os escores de eficiência compostos normalizados para as concessionárias sofrem alteração, conforme apresentado na Tabela 3.24. Para as empresas que são removidas durante o processo trunca-se a série e utiliza-se o último valor de eficiência. Para as empresas que continuam até o estágio final, as eficiências são recalculadas de acordo com a nova fronteira construída.

Tabela 3.24: Escore de eficiência composto normalizado original (%) e após a aplicação do método EDO

Concessionária	Ano	DMU	Original	IDRF 110%	IDRF 85%	IDRF 60%
CEEE	2008	DMU1	40,18	43,26	55,03	70,90
CEEE	2007	DMU2	41,54	44,36	65,86	72,22
CEEE	2006	DMU3	48,59	62,78	68,26	68,26
CEEE	2005	DMU4	49,57	60,57	65,86	65,86
CEEE	2004	DMU5	56,72	60,57	60,57	60,57
CEMIG	2008	DMU6	74,17	67,82	65,86	65,86
CEMIG	2007	DMU7	51,76	54,48	60,93	67,67
CEMIG	2006	DMU8	71,74	63,22	56,12	62,39
CEMIG	2005	DMU9	81,10	88,93	78,62	83,84
CEMIG	2004	DMU10	44,10	53,80	65,86	74,10
CHESF	2008	DMU11	57,76	60,57	60,57	60,57
CHESF	2007	DMU12	64,24	65,05	65,86	72,22
CHESF	2006	DMU13	74,59	77,77	77,48	81,53

CHESF	2005	DMU14	69,10	71,05	70,40	77,20
CHESF	2004	DMU15	63,18	68,15	65,86	71,15
COPEL	2008	DMU16	56,72	60,57	65,86	72,22
COPEL	2007	DMU17	100,00	100,00	100,00	100,00
COPEL	2006	DMU18	98,39	100,00	100,00	100,00
COPEL	2005	DMU19	98,24	99,79	99,79	99,79
COPEL	2004	DMU20	86,92	87,03	100,00	100,00
CTEEP	2008	DMU21	80,33	85,34	85,34	85,34
CTEEP	2007	DMU22	84,12	89,82	97,67	100,00
CTEEP	2006	DMU23	25,86	27,37	34,05	34,05
CTEEP	2005	DMU24	25,24	26,70	34,43	34,43
CTEEP	2004	DMU25	25,61	27,05	65,86	72,22
ELETRONORTE	2008	DMU26	12,86	12,24	12,24	12,24
ELETRONORTE	2007	DMU27	22,36	18,61	18,61	18,61
ELETRONORTE	2006	DMU28	30,30	24,20	65,86	70,84
ELETRONORTE	2005	DMU29	18,54	20,76	20,76	20,76
ELETRONORTE	2004	DMU30	19,93	22,28	22,28	22,28
ELETROSUL	2008	DMU31	67,12	64,25	64,08	71,54
ELETROSUL	2007	DMU32	63,33	59,72	64,38	70,19
ELETROSUL	2006	DMU33	61,31	63,41	65,51	71,54
ELETROSUL	2005	DMU34	70,37	73,96	76,48	86,20
ELETROSUL	2004	DMU35	41,06	46,65	59,03	69,71
FURNAS	2008	DMU36	56,72	60,57	65,86	72,22
FURNAS	2007	DMU37	56,72	60,57	65,86	73,50
FURNAS	2006	DMU38	62,55	66,80	71,88	74,37
FURNAS	2005	DMU39	57,87	64,50	69,76	72,22
FURNAS	2004	DMU40	56,72	60,57	65,86	72,22
		Média	56,68	59,13	64,36	68,27
		Coefficiente de variação	40,17	39,27	33,21	32,20

4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados alcançados após o emprego do método EDO são relevantes. Inicialmente destaca-se que o alicerce da modicidade tarifária é contemplado nos mesmos. Por meio da tabela 3.24 e das figuras 3.5, 3.6 e 3.7 é possível verificar que as unidades identificadas como extremas na ótica inversa, ou ótica da concessionária, são retiradas nos primeiros ciclos do algoritmo e truncam seu indicador no escore original (escore de eficiência baixo). Com isso, os melhores desempenhos pela ótica inversa são identificados e as empresas destacadas não agregam qualquer ganho com o método EDO no seu escore de eficiência original. Como exemplo cita-se a DMU 26 (ELETRONORTE em 2008).

Por meio da tabela 3.24 também é possível verificar que as unidades identificadas como extremas na ótica padrão, ou ótica do consumidor, são retiradas nos primeiros ciclos do algoritmo e truncam seu indicador no escore original (escore de eficiência alta, 100%). Como exemplo cita-se a DMU 17 (COPEL em 2007).

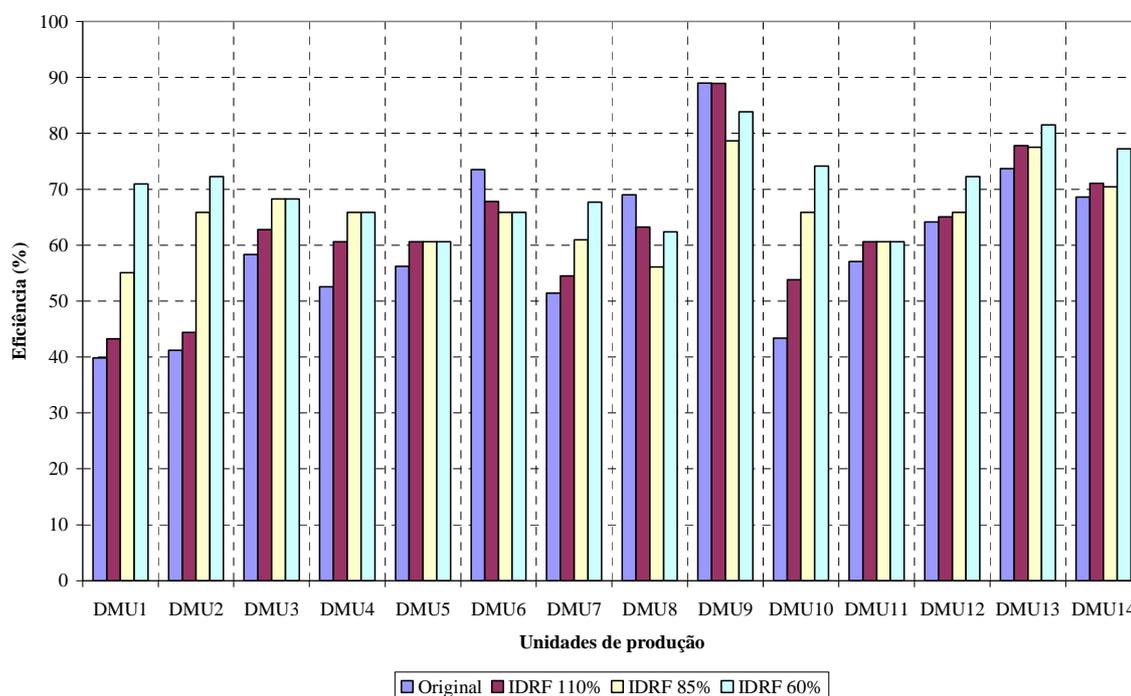


Figura 3.5 - Variação do escore de eficiência de acordo com a variação do IDRf para as DMUs de 1 a 14.

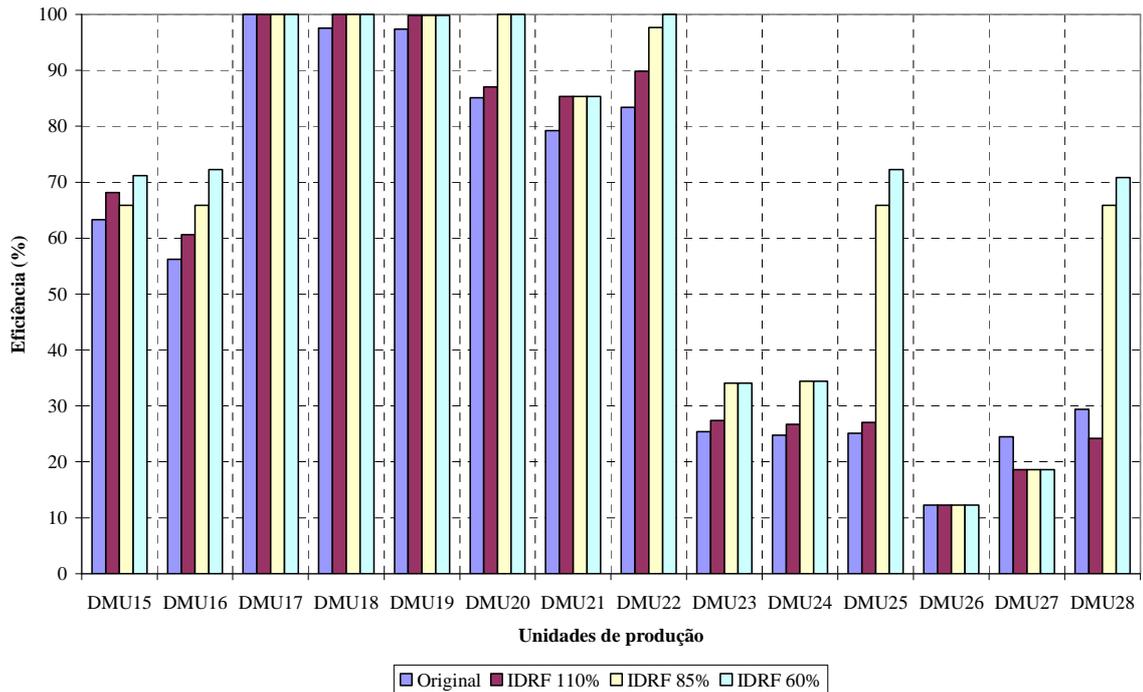


Figura 3.6 - Variação do escore de eficiência de acordo com a variação do IDRf para as DMUs de 15 a 28.

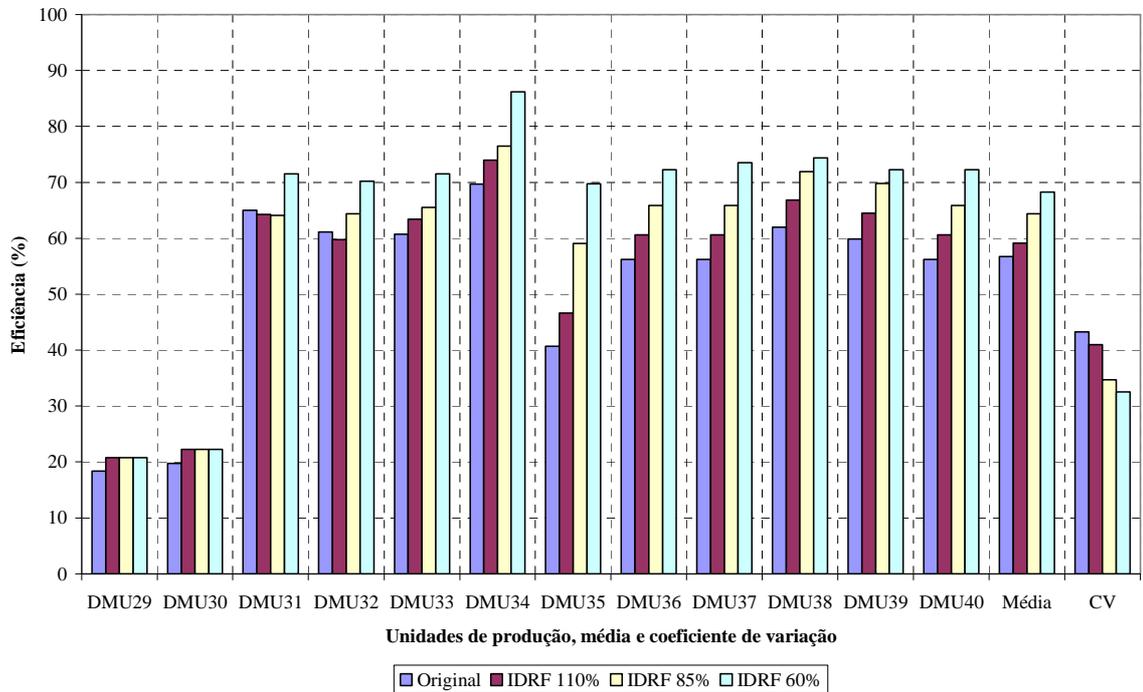


Figura 3.7 - Variação do escore de eficiência de acordo com a variação do IDRf para as DMUs de 29 a 40 e alteração do valor médio de eficiência e do coeficiente de variação.

As figuras 3.5, 3.6 e 3.7 mostram ainda que a variação dos escores de eficiência com a variação do IDRf é não uniforme. Para algumas unidades ocorre aumento de eficiência com a redução do IDRf. Em outros casos ocorre redução do escore original de eficiência com a redução do IDRf. Este comportamento era esperado, pois o objetivo da variação do IDRf é obter um conjunto competitivo. Assim, ocorre um reagrupamento da posição das DMUs, a cada novo ciclo do algoritmo, nas fronteiras à medida que é formada a nova composição do conjunto.

Outro destaque nos resultados é a redução do coeficiente de variação. A tabela 3.24 e a figura 3.7 mostram uma redução de aproximadamente 8 pontos no valor do coeficiente de variação. Isto significa que ocorreu redução na dispersão dos resultados de eficiência, tornando-os mais homogêneos, sendo este um dos objetivos da tese.

O foco na redução da dispersão nos resultados de eficiência é assegurar a identificação dos custos eficientes com as restrições impostas pela característica do mercado, possibilitando a existência do mesmo. Se o mercado fosse inteiramente competitivo, as forças envolvidas alocariam recursos com eficiência e o IDRf seria pequeno. Na presença de falhas, não ocorre a alocação de recursos de forma eficiente sem a devida intervenção. A variação do IDRf pode indicar a direção para um equilíbrio que maximiza benefícios para ambas as partes e promove o bem estar econômico global.

Segundo Plagnet (2006), a avaliação da eficiência das concessionárias de serviço público de distribuição é utilizada como instrumento regulatório na Europa, adaptando os resultados, por meio da negociação entre o regulador e os agentes. De uma forma resumida, o regulador obtém informações sobre a eficiência das concessionárias, analisa os resultados, informa às partes interessadas e recebe contribuições. Em seguida, o regulador e os agentes discutem e validam os resultados.

A metodologia EDO proposta na presente tese pode contribuir para o processo de negociação descrito por Plagnet (2006), minimizando a subjetividade e levando em consideração o ambiente e as relações entre os agentes. Representa o efeito agregado à análise pelo conjunto competitivo.

Na comparação de eficiência pelo DEA tradicional foi utilizado o modelo BCC. Por meio deste modelo é possível comparar empresas de qualquer porte (grande, média e pequena) em um único conjunto. Este fato importante faz com que as concessionárias sejam comparadas pelo mesmo indicador de eficiência.

Na comparação original, 45% das DMUs (18 unidades em 40) foram consideradas detentoras de um escore de 100%. Um dos possíveis motivos para que o número de unidades pertencentes à fronteira de eficiência seja alto é o reduzido número de DMUs que compõem a amostra. Com o uso da fronteira invertida foi aumentado o poder discriminatório do DEA original.

Com a inclusão da fronteira invertida, as unidades para serem consideradas 100% necessitam ter um alto grau de pertinência em relação à fronteira padrão e reduzido grau em relação à fronteira invertida. A quantidade de DMUs com escore de 100% de eficiência caiu de 18 para uma unidade, conforme foi mostrado na tabela 3.21. Esta análise valida outro objetivo da tese, que é a aplicação da metodologia em conjuntos com número reduzido de amostras.

Por meio do desenvolvimento dos índices ID (índice de disponibilidade) e IS (índice de sustentabilidade) foi possível aplicar o método DEA com um número de indicadores elevado em relação ao número de DMUs. Os índices desenvolvidos compactaram nove indicadores em dois índices. Não ocorreu perda de contribuição das informações presentes nos indicadores originais. Os coeficientes de correlação entre os índices ID e IS e os indicadores utilizados em sua formação são equivalentes aos valores encontrados nas referências (Miranda, 2008).

Outro ponto na análise dos resultados é o tratamento para presença de *outliers* na amostra. Uma solução simples, referenciada por Souza (2006), quando se aplica o método DEA e existem *outliers* no conjunto, é identificá-los e retirá-los da análise, considerando-os apenas desvios em relação ao comportamento padrão. Mas e se os *outliers* forem oportunidades de melhoria? É interessante investigá-los e possibilitar ganho para as demais unidades por meio do estudo dos mesmos. A metodologia EDO permite a retirada gradativa de *outliers* nos dois sentidos, agregando valor à análise.

Como uma possível fonte de *outliers* nos dados utilizados no estudo é indicada a presença de empresas de capital privado e empresas públicas. De fato, baseado em Arocena e Price (2002), as empresas públicas estão sujeitas às limitações impostas pela legislação pertinente. As mesmas não dispõem da flexibilidade administrativa das empresas privadas, tendo em vista a obrigatoriedade de promover licitações públicas para os seus negócios, somente contratar pessoal por meio de concurso público e sujeitar-se às rígidas regras impostas pela fiscalização de órgãos de controle externo.

Um exemplo de possível *outlier* é a CTEEP. A empresa foi privatizada em 2006, ano no qual foi iniciada uma série de mudanças na sua administração. Entre as modificações, foi realizado um PDV (Plano de Demissão Voluntária) que gerou uma variação irregular nos custos, dobrando o valor gasto com PMS naquele ano. Após o pico de 2006, os custos operacionais foram reduzidos de uma forma rápida e abrupta, diferentemente do perfil anterior. Esta característica da CTEEP torna-a um possível *outlier*, que de acordo com Figueira (1998) são observações que apresentam uma grande diferença em relação às demais, em potencial.

Para constatar a ocorrência de *outlier* na base de dados utiliza-se a técnica do gráfico de Box-Plot. De acordo com Velleman e Hoaglin (1981), os valores que forem maiores que $(Q3+3*L)$ e menores que $(Q1-3*L)$ devem ser considerados suspeitos de pertencer à população (extremos), onde Q1 é o quartil inferior, Q3 o quartil superior e L a diferença entre os dois, devendo ser investigada a origem da dispersão. Estes pontos são chamados de extremos. O resultado do Box-Plot é mostrado na tabela 3.25, onde é possível verificar que a variação do PMS entre os anos de 2005 e 2007 para a CTEEP é um extremo em relação ao conjunto.

Pode-se identificar a possível presença de *outliers* em outras variáveis além do PMS. Pelos valores encontrados no apêndice B, para a variável MVA o valor de $(Q3 + 1,5*L)$ é de 67.380,86 MVA o que torna todas as observações de FURNAS possíveis exceções acima da média. Os números representados na tabela 3.13 indicam que o índice de disponibilidade é outro exemplo claro, os valores de $(Q3 + 1,5*L)$ e $(Q3 + 3*L)$ são respectivamente 1090,55 e 1594,17, tornando a COPEL em 2005 como um extremo e a ELETRONORTE em 2006 como um possível extremo.

Tabela 3.25: Ocorrência de *outlier* na variação anual do PMS*

Concessionária	Variação (%) 2008-2007	Variação (%) 2007-2006	Variação (%) 2006-2005	Variação (%) 2005-2004
CEEE	1,76	12,40	7,56	15,70
CEMIG	3,54	-17,60	9,94	20,03
CHESF	6,39	33,58	-12,21	7,38
COPEL	-19,63	-17,45	-0,81	-12,29
CTEEP	-21,42	<u>-72,54</u>	<u>83,14</u>	0,15
ELETRONORTE	31,76	14,07	0,73	8,10
ELETROSUL	1,50	4,86	19,38	2,78
FURNAS	-3,35	12,33	11,27	25,38

* $(Q3+3*L) = 55,60$ e $(Q1-3*L) = -44,23$

A presença destas unidades pode tender os resultados da avaliação de eficiência para uma determinada perspectiva, e sem o tratamento deste atributo, pode ocorrer captura dos resultados. Uma remoção de todas estas unidades produziria efeitos imediatos quanto à conformidade do conjunto, entretanto, geraria redução na quantidade das DMUs e perda da qualidade da avaliação.

Mas por meio da EDO, com uma variação do IDRF, é possível manter a presença dos extremos na análise em relação às duas óticas e ganhar na crítica dos escores obtidos. Com informações da tabela 3.23, é possível verificar que a CTEEP em 2008 faz parte do conjunto competitivo até o estágio três e a CTEEP em 2007 permanece até o último estágio. As cinco observações de FURNAS continuam na análise até o último estágio. A COPEL em 2005 permanece até o estágio cinco e a ELETRONORTE em 2006 até a parada do algoritmo.

Assim, é possível utilizar no processo de avaliação de eficiência uma DMU de capital privado, investigando o processo atípico de redução do PMS (CTEEP), uma DMU que possui um parque industrial de grande porte dividido em poucas unidades (FURNAS), e DMUs que apresentam baixos índices de desligamento (COPEL e ELETRONORTE), pelo seu plano de manutenção ou seu planejamento, como ferramenta de geração de oportunidades de melhoria, aumentando o ganho comum.

Outro detalhe que é verificado pelas tabelas 3.22 e 3.23 é a concessionária COPEL em 2008. Segundo seu relatório social a empresa passou por uma ação de desverticalização de ativos, fato parecido com o ocorrido com a CEEE em 2006. Este evento influenciou seus dados (insumos e produtos) no ano de 2008. Neste ano, a COPEL aparece como um exemplo de extremo eficiente, ou seja, possui indicadores interessantes para as duas perspectivas. Foi o ano em que seu escore de eficiência foi o mais baixo. É aceitável que o resultado seja consequência da desverticalização da COPEL em 2008, provavelmente a repartição entre insumos e produtos não é simétrica entre todos os ativos da companhia. Em 2008 a COPEL ficou situada em uma região pouco habitada do espaço entre as fronteiras e assim foi considerada sob as duas óticas (consumidor e concessionária).

Na aplicação da EDO, por exemplo, a ELETRONORTE 2008 representa a convergência extrema para a visão inversa (ótica da concessionária). A concessionária é retirada pela ótica inversa no 1º estágio. Este caso pode ocorrer por diversos motivos, como o posicionamento adotado pela empresa, características peculiares do seu desempenho ou da sua área de concessão (DEA em dois estágios). O fato é que a presença da mesma no conjunto aproxima os resultados da avaliação para uma perspectiva oposta. Seu escore de eficiência é truncado no valor inicial e não ocorre benefício com a variação do IDRf.

Pela metodologia aplicada, as demais concessionárias estão situadas em uma região onde suas relações de insumo e produto possibilitam a existência do mercado, ou seja, onde não ocorre tendência para qualquer uma das óticas envolvidas e os objetivos não convergentes são conciliados em um resultado admissível para ambas as partes. Neste caso, a análise EDO possibilita ao regulador um dispositivo de tolerância, adequação do IDRf, que pode ser utilizado se verificada a necessidade de ajustes para aplicação integral do resultado DEA original.

Com a evolução dos ciclos de revisão tarifária, o limite do IDRf pode ser adaptado para induzir as DMUs a reduzirem as distâncias entre as fronteiras. Na visão dos consumidores a análise EDO, com as variáveis selecionadas, pode garantir um valor justo a ser pago, auferindo os ganhos de eficiência relacionados com uma redução do PMS sem perda da qualidade no serviço e sem redução no enfoque socioambiental das empresas.

A EDO pode criar condições para a busca da melhoria contínua pelas concessionárias. As companhias menos eficientes tenderão seus resultados para a fronteira normal, devido ao fato que a exclusão pela ótica invertida trunca seu escore de eficiência em valores baixos, extinguindo qualquer possibilidade de auferir progresso por meio da variação do IDRF. As concessionárias que são referências manterão sua tendência de melhores práticas, pois mesmo podendo ser excluída pela ótica normal, seu escore truncado será alto. As concessionárias com escores de eficiência intermediários tenderão seus escores para a fronteira normal, com o objetivo de pleitear ganhos no escore de eficiência e evitar a exclusão das mesmas pela ótica invertida.

É indiscutível a importância de relatórios com informações concretas, completas e confiáveis como fontes de pesquisa e consulta. A sociedade só tem a ganhar com a parceria entre as universidades e as entidades que deparam com diversas situações práticas e desejam compartilhar suas necessidades com uma mão-de-obra altamente especializada.

A tese foi baseada numa aplicação ao segmento de transmissão de energia elétrica, mas é totalmente adaptável e aplicável em outras partes do setor, como na geração, apoio na identificação de lances em leilões de concessões ou venda de energia e aumento da produtividade e rentabilidade, e na distribuição, ganho empresarial e fidelidade do consumidor.

5 – CONCLUSÕES

Foi desenvolvida uma metodologia de comparação de eficiência de unidades de produção, baseada em DEA, que forneceu resultados robustos numa aplicação composta por uma amostra contendo um número reduzido de observações (unidades de produção), contando com uma grande quantidade de indicadores (insumos e produtos), uma formação de conjunto não-homogênea e presença de interesses conflitantes (concessionária e consumidor).

Os resultados encontrados mostraram que a metodologia desenvolvida aumentou a discriminação do método DEA original, melhorando a identificação das unidades consideradas 100% eficientes. Com a variação do IDRF ocorreu uma redução na dispersão dos escores de eficiência, tornando os mesmos mais homogêneos, sem prejuízo da identificação das práticas mais eficientes.

A metodologia desenvolvida apresentou um subsídio aos estudos de comparação do desempenho de concessionárias de transmissão de energia elétrica. O foco da modicidade tarifária e da segurança do fornecimento foi mantido. A visão adotada foi que a regulação de serviços públicos deve promover a eficiência no uso dos ativos do setor, remunerar os investimentos prudentes, gerar benefícios reais ao consumidor e garantir imparcialidade aos processos. Atualmente existe um forte apelo no ganho de eficiência acompanhado pelo aumento da sustentabilidade.

A aplicação do método DEA para identificar custos operacionais eficientes pode produzir resultados não factíveis para aplicação direta. É necessário avaliar a homogeneidade do grupo e a pertinência dos indicadores. Para o consumidor, pode ocorrer que os escores obtidos não capturem todos os pontos de eficiência, não repassando o contexto dos ganhos.

A fronteira invertida permite maior habilidade discriminatória, evitando que uma DMU seja analisada somente pelos seus resultados mais favoráveis. A metodologia EDO minimiza os riscos da avaliação, funciona como uma crítica de sensibilidade para o método DEA, permitindo ao regulador constatar tendências ou anomalias por meio da avaliação dos impactos associados às mudanças estruturais (variação do IDRF) no modelo original.

O método EDO obteve diversos conjuntos competitivos, de acordo com o IDRF escolhido, e apresentou a vantagem de auxiliar o regulador em manter o equilíbrio entre os diversos interesses envolvidos, considerando as imperfeições de mercado e definindo um intervalo de variação dos valores de eficiência, positivo ou negativo, sem eliminar o incentivo para a redução dos custos operacionais, assegurando a segurança do suprimento de energia elétrica e a qualidade dos serviços prestados.

Os conjuntos competitivos obtidos produzem possibilidades de negociação entre os agentes na busca de resultados finais factíveis. Os escores de eficiência finais após a aplicação do método EDO podem agregar confiabilidade ao processo de revisão tarifária por meio do ajuste gradativo do limite máximo do IDRF.

A escolha do IDRF a ser utilizado é um dos pontos fundamentais na aplicação do método. Pode-se indicar um valor padrão, por meio de especialistas do setor, ou utilizar um leque de opções. O método EDO foi aplicado a um banco de dados com informações atuais de concessionárias de transmissão de energia elétrica no Brasil e os resultados obtidos foram harmônicos com o esperado.

A análise EDO, pela sua característica de exclusão das unidades extremas em relação às óticas envolvidas, promove uma busca, pelas concessionárias, da melhoria de eficiência dos seus processos e natural repasse ao consumidor.

Os resultados de uma aplicação prática da teoria da Economia da Experiência (apêndice A) demonstraram ganhos efetivos de valor. A comparação de eficiência faz com que a empresa descubra suas oportunidades de melhoria antes de seus concorrentes. No passo seguinte, a Economia da Experiência gera uma nova cultura na criação de valor, baseada na renovação contínua, na criatividade e originalidade, fornecendo um diferencial competitivo.

Como sugestões para trabalhos futuros baseados em análise envoltória de dados aplicada ao setor elétrico e a prestação de serviço público, destacam-se, a partir do desenvolvimento desta tese, as seguintes possibilidades: emprego da metodologia em outras áreas da prestação de serviço público; determinação de um IDRF ótimo para os diversos segmentos do setor elétrico; estudo e desenvolvimento de outros índices e suas aplicações; adição do

DEA em dois estágios ao método EDO; análise do uso da EDO em leilões de energia ou concessões; estudos e contribuições para políticas públicas sobre eficiência e geração de valor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramovay, R. (1994). Comercialização e clientelismo. In: ROMEIRO, A. et al. (Orgs.). Reforma agrária: produção, emprego e renda. O relatório da FAO em debate. Rio de Janeiro: Vozes/IBASE/FAO.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2006). Manual de Elaboração do Relatório de Responsabilidade Socioambiental das Empresas de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL.
- Albuquerque, V. (2007). Noções de Correlação e Regressão Linear Simples. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Departamento de Estatística.
- ALI, A.I., (1993). Streamlined computation for Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 64, 61-67.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resoluções e audiências públicas sobre a revisão tarifária das empresas de transmissão. [http:// www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br).
- Arocena, P., Waddams Price, C. (2002). Generating efficiency: Economic and environmental regulation of public and private electricity generators in Spain. *International Journal of Industrial Organization* 20, 41-69.
- Azambuja, A. V. (2002). Análise de Eficiência na Gestão do Transporte Urbano por Ônibus em Municípios Brasileiros. Santa Catarina. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Babbie, E. (2001). Métodos de pesquisa de survey. Tradução de Guilherme Cezarino. Editora UFMG.
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30 (9), 1078-1092.
- Belloni, J. A. (2000). Uma Metodologia de Avaliação da Eficiência Produtiva de Universidades Federais Brasileiras. Florianópolis, 2000. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Bonilla, M., Casasús, T., Medal, A., Sala, R. (2004). Un análisis de eficiencia con tolerancias del sistema portuario español. Instituto de Economía Internacional, Facultat d' Economia, Universitat de València.

- Carvalho, O., Viana, O. (1998). Ecodesenvolvimento e equilíbrio ecológico: algumas considerações sobre o Estado do Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*. Fortaleza, v. 29, n. 2, abr./jun.
- Calvo, M. C. M. (2002). Hospitais Públicos e Privados no Sistema Único de Saúde do Brasil: O Mito da Eficiência Privada no Estado de Mato Grosso em 1998. Santa Catarina. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Canay, I. (2002). Eficiencia y Productividad en Distribuidoras Eléctricas Repaso de la Metodología y Aplicación. Centro de Estudios Económicos de la Regulación Universidad Argentina de la Empresa. Buenos Aires, Argentina.
- CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica – Rio Grande do Sul. Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.ceee.com.br. Acessado em 13/05/10.
- Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais - Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.cemig.com.br. Acessado em 13/05/10.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Golany, B., Seiford, L., Stutz, J. (1985). Foundations of Data Envelopment Analysis and Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions, *Journal of Econometrics*, Vol. 30, 91-107.
- Charnes, A, Cooper, W.W. e Rhodes, E.L. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* n.2 p. 429-444.v.2.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Thrall, R.M., (1991). A Structure for Characterizing and Classifying Efficiencies and Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Journal of Productivity Analysis*, 197-237.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A., Seiford, L. M. (1996). *Data envelopment analysis: theory, methodology and application*. London: Kluwer Academic Publishers.
- Cherchye , L., Post, T. (2001). *Methodological Advances in DEA: A survey and an application for the Dutch electricity sector*. Catholic University of Leuven, Belgium.
- Coelli, T. (1996). *A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program*. University of New England, Australia.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., Battese, G. E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Springer Science+Bussiness Media, Inc.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J. (2004). *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses*, Springer.

- COPEL – Companhia Paranaense de Energia - Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.copel.com. Acessado em 13/05/10
- Coral, E. (2002). Modelo de planejamento estratégico para a sustentabilidade empresarial. 2002. 282f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.
- Covey, S. R. (2005). Os 7 Hábitos das Pessoas Altamente Eficazes. Best Seller.
- CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.cteep.com.br. Acessado em 13/05/10.
- Daneluz, M. S., Zacharias, F. C., Papst, P. Z., Oliveira, S. R., Vasconcelos, W. R. (2008). O EVA[®], o MVA, o EBITDA e o Fluxo de Caixa Descontado: vantagens e desvantagens. MBA em Gestão Financeira, Controladoria e Auditoria. FGV.
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization, *Econometrica*, p. 273-292.
- Debreu, G. (1952). A Social Equilibrium Existence Theorem *Proceedings of The National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 16, 105-137.
- Einhorn, H. J., Hogarth, R. M. (1982). Prediction, diagnosis, and causal thinking in forecasting. *Journal of Forecasting*, v.1, n.1, p.23-36.
- Eletrobrás Chesf – Companhia Hidrelétrica do São Francisco - Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.chesf.gov.br. Acessado em 13/05/10.
- Eletrobrás Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte - Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.eletronorte.gov.br. Acessado em 13/05/10.
- Eletrobrás Eletrosul – Centrais Elétricas do Sul - Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.eletrosul.gov.br. Acessado em 13/05/10.
- Eletrobrás Furnas – Furnas Centrais Elétricas SA - Balanço social de 2004 a 2008, obtido no endereço eletrônico: www.furnas.com.br. Acessado em 13/05/10
- Entani, T., Maeda, Y., Tanaka, H., (2002). Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, v. 136, 32-45.
- Farrell, J. M. (1957). The Measurement of Technical Efficiency, *Journal of the Royal Statistics Society, SERIES A (GENERAL), PART III*, 253-290.
- Ferreira, F. C. (2003). Regulação Econômica, Fronteira Eficiente e Clusters Dinâmicos: Desenvolvimento e Aplicação para o Cálculo do Fator X. Santa Catarina. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Figueira, M.M.C., (1998). Identificação de outliers. *MILLENIUM – Revista do Instituto Superior Politécnico de Viseu*, 12.

- Fried, H. O., LOVELL, C. A., Schmidt, S. (2008). *The Measurement of Productivity Efficiency and Productivity Growth*. Oxford University Press. New York.
- Gang, L., Felmingham, B. (2002). *The Technical Efficiency of Australian Irrigation Schemes*. School of Economics, University of Tasmânia.
- Gasparini, C.E. (2003). *Provisão de Serviços Públicos no Brasil: uma análise de aspectos sociais, técnicos e institucionais*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- GVces - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getulio Vargas (FGV-EAESP). Informações diversas. <http://www.ces.fgvsp.br/gvces/>. Acessado em 18/08/10.
- Hawdon, D. (2001). *Efficiency, performance and regulation of the international gas industry - a bootstrap DEA approach*. Department of Economics & Surrey Energy Economics Centre, University of Surrey, UK.
- Heskett, J. L., Jones, T. O., Loveman, G. W., Sasser Jr., W. E., Schlesinger, L. A. (1994) *Putting the Service-Profit Chain to Work*. Harvard Business Review.
- Hogarth, R. M. (1995). *Cognitive processes and the assessment of subjective probability distributions*. *Journal of the American Statistical Association*, v.70, n.350, p.271-289.
- IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento. *Benchmarking e Boas Práticas*. Disponível em <http://www.iapmei.pt>. Portugal. Acesso em 10/09/09.
- IBASE. *Balanco Social: legislação*. Disponível em: <www.balancosocial.org.br>. Acesso em: 09/03/10.
- Jamasb, T., Pollitt, M., (2000). *Benchmarking and regulation of electricity transmission and distribution utilities: Lessons from international experience*. *Utilities Policy* 9, 107-130.
- Jamasb, T., Pollitt, M. (2002). *International Utility Benchmarking & Regulation: An Application to European Electricity Distribution Companies*. Department of Applied Economics, University of Cambridge.
- Kassai, S. (2005). *Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na Análise de Demonstrações Contábeis*. São Paulo. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo.
- Korhonen, P., Syrjänen, M. (2002). *Evaluation of Cost Efficiency in Finnish Electricity Distribution*. Helsinki School of Economics, Finland.

- Lavado, R. F. (2003). Benchmarking the Efficiency of Philippine Electric Cooperatives Using Stochastic Frontier Analysis and Data Envelopment Analysis. Tokyo, Japan.
- Lins, M. P. E., Meza, L. A. (2000). Análise Envoltória de Dados e Perspectivas da Integração no Ambiente de Apoio a Decisão. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Lins, M.P.E., Novaes, L.F.L., Legey, L.F.L. (2005). Real estate appraisal: A double perspective Data Envelopment Analysis Approach. *Annals of Operations Research* 138, 79-96.
- Mas-Colell, A., Whinston, M.D., Green, J.R. (1995). *Microeconomic theory*. New York, Oxford, Oxford University Press.
- Miranda, A. C. (2008). O desafio da construção de referência de qualidade para os sistemas de ensino: Uma avaliação com o uso da análise envoltória de dados – DEA. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.
- Melgarejo, L. (2001). Desempenho, eficiência multidimensional e previsão de possibilidade de sucesso em assentamentos de reforma agrária. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Porto Alegre.
- Mello, J.C.C.B.S, Gomes, E.G., Meza, L.A., Neto, L.B., (2003). Índice de eficiência em fronteiras DEA nebulosas. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, 2 (14). UFF, Brasil.
- Mello, J.C.C.B.S., Meza, L.A., Gomes, E.G., Neto, L.B., (2005a). Curso de Análise Envoltória de Dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, RS, Brasil.
- Mello, J.C.C.B.S., Meza, L.A., Gomes, E.G., Neto, L.B., (2005b). ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a Software Package for Data Envelopment Analysis Model. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.3, p.493-503.
- Meza, L.A., Mello, J.C.C.B.S, Gomes, E.G., Fernandes, A.J.S., (2007). Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. *Investigação Operacional*, 27, 21-36.
- Mota, R.L., (2004). Comparing Brazil and USA electricity distribution performance: What was the impact of privatization? *CMI Working Papers in Economics* CWPE0423.
- Novaes, L.F.L., (2002). Envoltória sob dupla ótica aplicada na avaliação imobiliária em ambiente do sistema de informação geográfica. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

- Oliveira, J. A. P. (2005). Uma avaliação dos Balanços Sociais das 500 maiores. ERA – eletrônica – v 4, n 1, art 2, jan/jul.
- Pahwa, A., Feng, X., Lubkeman, D. (2003). Performance evaluation of electric distribution utilities based on data envelopment analysis. IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, pp. 400–405.
- Plagnet, M. A. (2006). Use of Benchmarking Methods in Europe in the Electricity Distribution Sector. Conference on Applied Infrastructure Research.
- Pedrosa, P., (2005). Desafios da Regulação do Setor Elétrico, modicidade tarifária e atração de investimentos. Textos para discussão I - ANEEL. Brasília, Brasil.
- Philippi, L. S. (2001). A Construção do Desenvolvimento Sustentável. In.: LEITE, Ana Lúcia Tostes de Aquino; MININNI-MEDINA, Naná. Educação Ambiental (Curso básico à distância) Questões Ambientais – Conceitos, História, Problemas e alternativa. 2. ed, v.5. Brasília:Ministério do Meio Ambiente.
- Pine, B. J. Gilmore, J. H. (1999). The Experience Economy: Work Is Theater & Every Business a Stage. Harvard Business School Press. Boston, Massachusetts.
- Ray, S. C. (2004). Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research. Cambridge University Press, New York.
- Ridderstróale, J. Nordstróm, K. A. (2005). Karaoke Capitalism: Daring to Be Different in a Copycat World. Westport, Connecticut. London.
- Ruzzier, C. A. (2002). Una Introducción a la Estimación No Paramétrica de Fronteras de Eficiência. Centro de Estudios Económicos de la Regulación Universidad Argentina de la Empresa. Buenos Aires, Argentina.
- Samohyl, R. W. (2000). Introdução à Estatística e Métodos de Previsão em Séries Temporais: Teoria Aprofundada e Prática Simplificada. Núcleo de Normalização e Qualimetria. Universidade Federal de Santa Catarina
- Santos, R. B., (2009). Reposicionamento de empresas na busca da liderança devido à mudança do modelo do Setor Elétrico Brasileiro. XX SNPTEE, Pernambuco, Brasil.
- Silva, A. P. F., Souza, E. X., Miranda, L. C. (2010). Evidências de Investimentos em Responsabilidade Social através da Análise Setorial dos Balanços Sociais: um Estudo realizado nas empresas do grupo Eletrobrás.VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende - RJ.
- Simar, L. and Wilson, P.W., (2000). Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: The State of the Art. Journal of Productivity Analysis, 13: 49-78.

- Simons, R. (1996). Data Envelopment Analysis and its Use in Banking. MP in Action, The Newsletter of Mathematical Programming in Industry and Commerce.
- Sousa, D.A.P., Lellis, M.M., Ferreira, R.D., (2007). Tributação, Encargos Setoriais e a Modicidade Tarifária. Trabalho de conclusão curso de Direito de Energia Elétrica. UCAM. Rio de Janeiro, Brasil.
- Sousa, M.C.S., Stosic, B.D., (2005). Technical efficiency of the Brazilian municipalities: Correcting Nonparametric frontier Measurements for outliers. *Jornal of Productivity Analysis*, v. 24, 155-179.
- Souza, J.C.F., (2006). Eficiência Bancária: uma abordagem não paramétrica aplicada ao Banco do Brasil. Tese de Doutorado em Economia, FACE, UnB, Brasília, Brasil.
- Tanure, J. E. P. S. (2004). Proposta de Procedimentos e Metodologia para Estabelecimento de Metas de Qualidade (DEC e FEC) para Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica Através da Análise Comparativa. São Paulo. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo.
- Tavares, G. (2002). A bibliography of Data Envelopment Analysis. Research Report. Rutgers Center of Operations Research, Rutgers University.
- Tavares, N.J.F. (2008). Modelo Quantitativo para avaliação de desempenho empresarial baseado em análise envoltória de dados com múltiplos fatores. Tese de Doutorado. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo.
- Thanassoulis, E. (2001). Introduction to the theory and application of data envelopment analysis. USA: Kluwer Academic Publishe.
- Toyama, C. (2005). Quando sua empresa vai parar de imitar as outras? HSM Management Update nº 21. Junho.
- Toyama, C. (2006). Stakeholder experience & branding. I Seminário de Interação e Economia da Experiência. UnB.
- Velleman, P.F., D.C. Hoaglin. (1981). Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis. Pacific Grove. CA: Duxbury Press.
- Wanderley, C. A., Meira, J. M. (1999). Proposta de uma nova metodologia para a coleta de indicadores de desempenho gerencial. Universidade de Pernambuco.
- Yamada, Y., Matui, T., Sugiyama, M., (1994). New analysis of efficiency base on DEA. *Jornal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37 (2), 158-167.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ECONOMIA DA EXPERIÊNCIA: TEORIA E UMA APLICAÇÃO PRÁTICA NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

A.1 – ECONOMIA DA EXPERIÊNCIA

Ridderstróale e Nordstróm (2005) acreditam que o processo de *benchmarking* e a consequente repetição das melhores práticas forneceu combustível para a padronização e total falta de distinção entre um produto e outro. Eles fazem uso do karaokê, para afirmar que quem copia nunca soará exatamente como o original e será sempre considerado como "chegando quase lá".

A imitação do sucesso de grandes cantores, como Elvis Presley, é reproduzida de forma lúdica e popular nos karaokês. No palco, imitadores, mais ou menos bem sucedidos, tentam reproduzir suas referências artísticas e seus grandes sucessos. Segundo os autores, as empresas “karaokê” seriam as imitadoras do sucesso de outras no mundo corporativo e o *benchmarking* seria apenas uma forma específica de cópia. Como exemplo, eles citam que todos os cursos de MBA que conhecem em diversos países compartilham os mesmos manuais. Em um ambiente competitivo, apenas a imitação pode não ser suficiente.

Para Toyama (2005), a cópia das melhores práticas deveria ser utilizada como o passo inicial para qualquer empresa fazer parte da competição e não como um fim em si. Logo que as empresas obtivessem um determinado nível de qualidade, elas deveriam trabalhar para se distinguir no mercado de tal maneira que seus diferenciais fossem praticamente impossíveis de serem copiados.

No cenário empresarial, agregar valor diferencial a seus produtos ou serviços garante destaque e vantagem em relação aos seus concorrentes, minimizando o impacto da guerra dos preços nos seus resultados. Agregar valor aos produtos não implica necessariamente aumento dos custos de produção. Em diversas situações, é necessário apenas investir na atitude, na visão e na cultura das organizações. O ponto chave é fornecer aos clientes (internos e externos) uma percepção diferente e exclusiva de valor. É imprescindível proporcionar mais valor que a concorrência pelo mesmo preço e, se quiser retornos maiores, oferecer uma experiência, um conceito e um posicionamento tão especiais que o cliente tenha satisfação de fazer negócios especificamente com sua empresa.

A Economia da Experiência é um processo de capacitação de uma empresa para que a mesma gere um portfólio diferenciado e consistente. Ajuda a concretizar o posicionamento da companhia e leva a um crescimento do valor agregado. Distingue a empresa de uma maneira que não seja facilmente copiada pelos competidores. Como exemplos de companhias ou entidades que utilizam a economia da experiência podem-se citar: Audi[®], Nike[®], Apple[®], Petrobrás[®], Siemens[®], USP[®] e EMBRAER[®].

De acordo com Pine e Gilmore (1999), o sistema econômico, ao longo do tempo, se adapta e se transforma em novos e melhores ciclos, destruindo o modelo velho e criando um novo, promovendo longos períodos de prosperidade, recompensas para novos produtos, novos métodos produtivos ou novos sistemas organizacionais. A dinâmica capitalista promove um permanente estado de inovação, mudança, substituição de produtos e criação de novos hábitos de consumo. Para os autores, a economia encontra-se na quarta fase de seu desenvolvimento. Iniciamos pela fase agrária, depois deixamos a fase industrial (produtos), passamos pela fase de serviços e chegamos às portas da fase das experiências. A figura A.1 ilustra a situação e faz um comparativo com a evolução do Setor Elétrico Brasileiro.

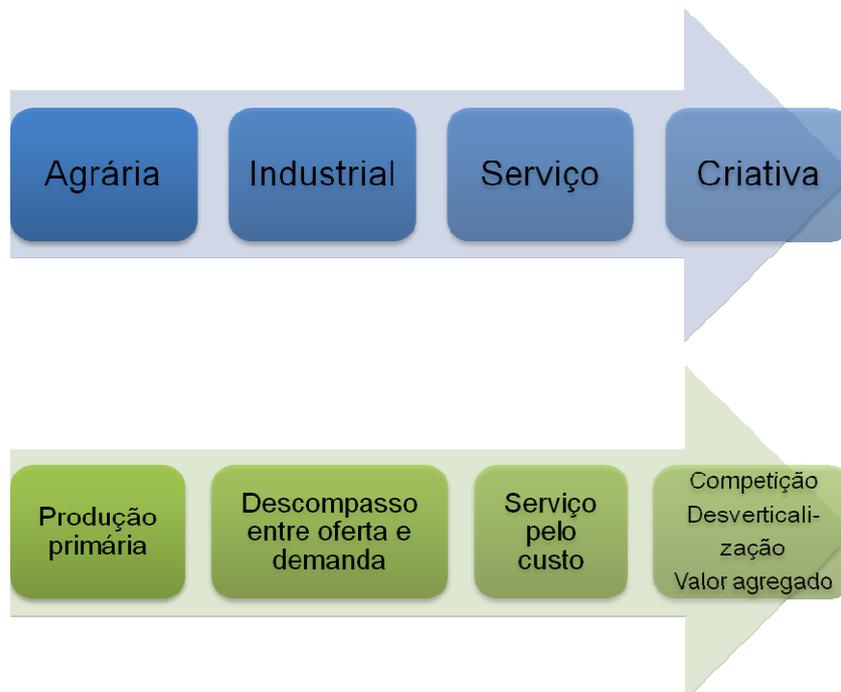


Figura A.1 – Evolução da sociedade comparada com a evolução do Setor Elétrico Brasileiro (Toyama, 2006) com adaptações.

No primeiro período, a economia brasileira caracterizava-se pela produção primário-exportadora, uma aceleração do processo de urbanização e a intensificação do consumo de energia. Na segunda fase, o crescimento do processo de industrialização marca um forte descompasso entre oferta e demanda. O terceiro período caracteriza-se pela forte e crescente presença do Estado no setor, pela introdução do sistema tarifário sob o regime de "serviço pelo custo", pelos grandes investimentos e posterior crise econômico-financeira. A atual fase, caracterizada pelo Novo Modelo do setor (tem como base a competição, a modicidade tarifária e a segurança do suprimento), exige que as empresas produzam mais com menos insumos. O desafio é expandir, manter e operar o sistema de forma eficiente, tanto tecnicamente como economicamente.

A Figura A.2 mostra a idéia da progressão do valor agregado. Quanto ao posicionamento competitivo, a economia da experiência proporciona uma diferenciação no mercado e quanto ao preço, permite um maior valor agregado.

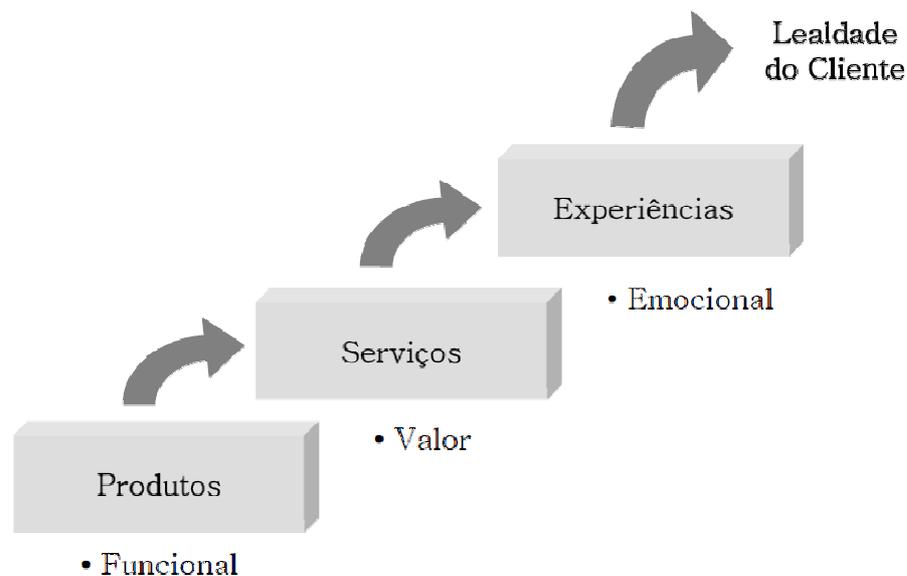


Figura A.2 - A Progressão do Valor Econômico (Toyama, 2006).

A economia da experiência sugere algumas mudanças de pensamentos e conceitos. De serviços intangíveis passa-se a promover experiências memoráveis, o cliente torna-se visitante/convidado e o que se oferece deixa de ser customizado para ser personalizado. As sensações provocadas são únicas e variam de indivíduo para indivíduo.

Para Pine e Gilmore (1999), o cenário das mudanças que impulsionou o desenvolvimento da Economia da Experiência é composto pela comoditização do mercado. Já não existe diferencial perceptível entre um produto e outro, devido à facilidade com que tudo é copiado e reproduzido. A abundância de produtos e serviços que concorrem pelo mesmo mercado, faz com que essa multiplicidade dificulte ainda mais o alcance da diferenciação.

Outro ponto é o poder de barganha na mão do consumidor, com um mercado tão competitivo o consumidor busca cada vez mais informações antes de adquirir um produto ou serviço. Para o cliente externo de um serviço público, a liberdade de escolha de sua fornecedora de energia, telefone ou gás (consumidor livre, realidade em diversos países) é um exemplo do poder de barganha. Já para o cliente interno, o aumento da força de entidades sindicais pode ser citado como exemplo.

A departamentalização das empresas, herança da era industrial, também faz parte do cenário gerador da Economia da Experiência. É um modelo que passou a ser questionado por funcionários e clientes. É necessário que as empresas possuam velocidade e agilidade em vez de força, aproximando os principais tomadores de decisão dos pontos-chaves.

Toyama (2006) destaca que as satisfações do cliente externo (consumidor) e do cliente interno (funcionário) estão interligadas. Com a visão limitada de conquistar lucros imediatos cada vez mais altos, sem a perpetuação dos mesmos, os executivos acabam perdendo a noção dos fatores que realmente fazem a diferença no longo prazo: sua base de clientes e funcionários satisfeitos.

Toyama (2005) resumiu três percepções sobre o tema: para Heskett et al. (1994) existe uma ligação estreita entre a experiência que a empresa cria para seus funcionários e o crescimento de receita e lucro da empresa. Em uma de suas palestras, Covey (2005), menciona a seguinte frase: "Sempre trate seus funcionários exatamente como você gostaria que eles tratassem seus melhores clientes". Outro exemplo é obtido de Shaun Smith, "a experiência que você proporciona todos os dias a seus clientes e funcionários, por meio de cada relação, direta ou indiretamente, constrói valor para sua marca ou a destrói".

Em todos os segmentos da economia pode-se vender qualquer "mercadoria" como *commoditie*, produto, serviço ou experiência. No setor elétrico não é diferente. Tudo

depende do posicionamento estratégico adotado. Geradoras, transmissoras, distribuidoras e comercializadoras possuem em comum a dependência de seus clientes internos e externos.

A margem de lucro que se pode obter na produção e venda de qualquer produto ou serviço não é relacionada somente com a qualidade e os custos envolvidos na sua fabricação e comercialização, mas também com o quanto de valor conseguimos agregar aos produtos e serviços e oferecer aos nossos clientes internos e externos.

A.2 – APLICAÇÃO PRÁTICA DA ECONOMIA DA EXPERIÊNCIA AO SETOR ELÉTRICO

Um passo adicional e não frequente nos estudos de comparação de eficiência é propor uma metodologia com ações para alterar os indicadores de forma positiva e gerar ganho de eficiência para deslocar a unidade para a fronteira. Na realidade, o objetivo da aplicação prática é maior do que apenas o ganho de eficiência, busca-se agregar valor à empresa. De uma forma direta agregar valor significa criar riqueza.

Neste trabalho é indicada a Economia da Experiência como diferencial no processo de criar riqueza, desvinculando a empresa das práticas comuns, além da simples imitação do *benchmarking*. A metodologia foi aplicada na prática em uma divisão (menor nível hierárquico) de uma empresa do setor elétrico (Eletrobras Furnas), em 2009, e os resultados foram acompanhados pelo período de um ano.

A figura A.3 (Toyama, 2006) e (Heskett et al, 1994) sugere uma trajetória para agregar um diferencial competitivo e raro considerando o cliente interno e externo. Lembrando que a satisfação do cliente externo está relacionada com a satisfação do cliente interno.

Adaptações foram feitas à ideia original da Economia da Experiência e foi obtida uma prática aplicável diretamente aos segmentos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Trazendo as características de mercado que levaram à criação da teoria da Economia da Experiência para o Setor Elétrico no Brasil, podem-se destacar os seguintes fatos:

1. Energia elétrica pode ser considerada uma *commodity*;
2. Projetos e equipamentos podem ser reproduzidos e copiados por mais de um agente;

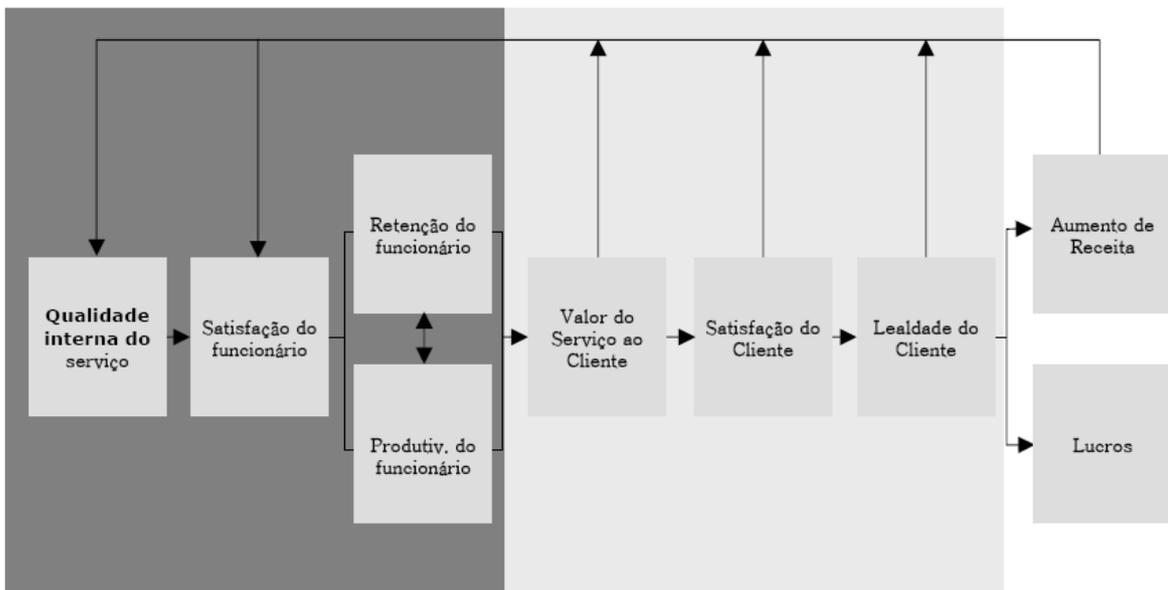


Figura A.3 – Relações entre cliente interno e externo e resultados (Toyama, 2006).

3. A quantidade de *players* no mercado aumentou nos últimos anos;
4. Alguns consumidores externos possuem liberdade de escolha do fornecedor, poder de barganha do cliente externo;
5. Aumento da força das entidades sindicais e a falta de pessoal especializado, poder de barganha do cliente interno;
6. “Miopia” de mercado.

No parágrafo anterior, a miopia de mercado pode ser exemplificada pelas novas concessões, onde é necessário gerenciar os custos do investimento e de O&M para ofertar lances competitivos nos leilões, podendo concentrar todos os esforços de gestão e em contra partida colocar o gerenciamento dos custos do serviço prestado das concessões antigas em segundo plano. A tabela A.1 apresenta um resumo comparativo entre as características no mercado comum e no setor elétrico.

A oportunidade de aplicação da teoria ocorreu em 2009. O incentivo veio por meio de um programa estratégico de gerenciamento de custos implantado pela hierarquia superior da empresa. O programa consistia no gerenciamento dos custos de Pessoal, Material, Serviços e Outros (PMSO) dentro de uma meta definida e sem perda de produção. Não foi limitada a adoção de qualquer tipo de técnica.

Tabela A.1: Comparativo entre os fatos geradores das mudanças no mercado comum e no Setor Elétrico que levam ao estágio da Economia da Experiência.

Mercado comum	Setor Elétrico
Comoditização – cópia e reprodução	Comoditização – projetos e equipamentos
Abundância de produtos e serviços	Aumento de players
Poder de barganha nas mãos do consumidor	Consumidor livre; Força dos sindicatos; Pessoal especializado
Miopia de mercado – não se preocupa de manter seus clientes antigos	Miopia de mercado – pode não se preocupar em gerenciar custo das concessões antigas
Departamentalização	Departamentalização

A empresa do caso em estudo é pública e assim está sujeita às limitações impostas pela legislação pertinente. Como exemplos dos limites, na rubrica de pessoal foram trabalhados, exclusivamente, os itens gerenciáveis, como por exemplo: horas-extras e outros adicionais.

Dentro do organograma da empresa a técnica foi aplicada ao nível de divisão, o menor nível hierárquico a época. O cenário era composto por 73 funcionários e um parque de produção com oito subestações em tensões de 500/345/230/138/69 kV e duas usinas, total de 1.727 MW, distribuídas no Distrito Federal, Goiás e Tocantins.

O primeiro passo adotado, anterior ao ano de 2009, foi a medição dos indicadores da unidade em questão. Com os valores obtidos foi realizado o processo de comparação de eficiência. Por meio da análise envoltória de dados (DEA/EDO), a unidade de produção do caso base foi comparada com as demais. Ao todo foram analisadas dez unidades de produção.

A identificação da posição da área do caso em estudo em relação à fronteira de eficiência possibilitou delimitar as referências e as possibilidades de melhorias. De forma geral, foi concluída a necessidade de identificar e sanar as ineficiências nos processos. Para isso era indispensável sair da inércia, tanto na base como no topo da pirâmide. Além de melhorar a eficiência, foi destacada a necessidade de criar valor como diferencial competitivo e focalizar em resultados. Valor é um indicador mais completo do que lucro. Criar valor é maximizar a riqueza da empresa.

Os próximos parágrafos descrevem como a economia da experiência foi aplicada para criar valor à unidade do caso base. A figura A.1 mostra como agregar valor ao cliente interno gera valor ao cliente externo e conseqüente aumento da receita e ganho nos lucros. No caso em estudo o cliente externo (sociedade) percebeu o valor por meio da redução de frequência e duração das indisponibilidades programadas e indiretamente pela modicidade tarifária (redução do PMSO).

Foi massificado o conceito da imparcialidade e da meritocracia, ou seja, as pessoas seriam reconhecidas pelo seu desempenho independente do tempo de casa. Metas claras e factíveis foram estabelecidas, assim como as recompensas pelo esforço. Citam-se como exemplos das recompensas: reconhecimento público, cursos externos, progressões e promoções baseadas no desempenho.

A criatividade (olhar diferenciado sobre qualquer coisa) foi incentivada e destacada, por meio do respeito e interesse por cada opinião. Por mais simples que seja qualquer melhoria nos processos fornece um ganho ao sistema. Quando uma ideia era selecionada, o seu autor ficava responsável pela implantação, independente de sua posição hierárquica. Havia auxílio de um tutor que incentivava e instigava a participação de todos.

A equipe era desafiada a realizar as atividades da forma mais eficiente, levando em conta a segurança, os custos envolvidos, os impactos no sistema elétrico e a produtividade. Foi deixada clara a importância de cada ação nos resultados da empresa. Mensalmente os principais indicadores eram enviados a todos. Dentro das limitações impostas, talentos eram reconhecidos e retidos de diversas formas, muitas vezes independentemente de retorno financeiro. Citam-se como exemplos de reconhecimento: delegação de competências, apoio no desenvolvimento de ideias, incentivo para participação em seminários internos e externos de divulgação e apoio no desenvolvimento da carreira.

Houve uma eliminação da distância na pirâmide hierárquica e participação ativa em todas as atividades. Não foi utilizada força para as mudanças, mas sim velocidade. A equipe ficou mais leve, conseguia enxergar mais longe. Delegar responsabilidade e dividir decisões que afetavam o desempenho da divisão foi um fato importante. Foi conseguido que a equipe distinguisse rapidamente o peso e a capacidade que continha e como iria satisfazer as expectativas do seu esforço e da empresa.

Outro fato importante na agregação de valor é a participação do topo da pirâmide no processo de exigir de si mesmo e da equipe a responsabilidade por um trabalho que vai além dos limites da qualidade. As expectativas são mútuas, o topo da hierarquia espera que a equipe se destaque em suas atividades e a equipe espera que o topo da hierarquia se destaque nas suas. Exemplo e participação são parceiros na ação.

A forma mais fácil de evidenciar o impacto da metodologia aplicada é apresentada nas tabelas A.2, A.3, A.4 e A.5. O caso base, ou seja, a unidade de produção que utilizou a economia da experiência superou a meta estabelecida para o gerenciamento do PMSO.

Na tabela A.2 é representado o quanto da meta foi atingido para o caso base. A referência é o valor médio, a mediana e o terceiro quartil do alcance da meta obtido pelas dez unidades de produção analisadas. Assim, a tabela A.2 mostra quantas vezes o caso base superou as demais unidades em relação à meta do PMSO.

Tabela A.2: Resultados práticos no alcance da meta de PMSO.

	Caso base
Média	2,74
Mediana	3,01
3° Quartil	1,96

A tabela A.3 mostra a diferença de resultados em relação à execução das rotinas de manutenção. Como na tabela A.2, a referência é o valor médio, a mediana e o terceiro quartil do resultado obtido pelas dez unidades de produção analisadas. Assim, a tabela A.3 mostra quantas vezes o caso base superou as demais unidades em relação à execução das rotinas de manutenção.

Tabela A.3: Resultados práticos na execução das rotinas de manutenção.

	Caso em estudo
Média	1,38
Mediana	1,37
3° Quartil	1,28

Por meio da tabela A.4 é demonstrada a diferença de resultados em relação à produtividade das equipes. Neste caso, a produtividade está relacionada com o percentual de utilização das oito horas diárias de trabalho em atividades relacionadas à manutenção dos ativos. Mais uma vez, como na tabela A.2, a referência é o valor médio, a mediana e o terceiro quartil da produtividade obtida pelas dez unidades de produção analisadas. Assim, a tabela A.4 mostra quantas vezes o caso base superou as demais unidades em relação ao aumento de produtividade das equipes em relação ao ano anterior.

Tabela A.4: Resultados práticos no aumento da produtividade das equipes.

	Caso em estudo
Média	1,72
Mediana	1,65
3° Quartil	1,56

Outra percepção do valor agregado no ano de 2009 pela unidade de produção que aplicou a economia da experiência é o cálculo da variação do EVA[®]. O EVA[®] (*Economic Value Added* ou Valor econômico agregado) é uma medida quantitativa que reflete o montante de valor criado ou destruído, num determinado período, em uma empresa. É marca registrada da Stern Stewart & Co., empresa de consultoria americana que define o EVA como medida de desempenho voltada sempre para a criação de riqueza dos acionistas (Daneluz, 2008).

A equação (A.1) apresenta a fórmula de cálculo do EVA[®].

$$\text{EVA}^{\text{®}} = (\text{RO} - \text{IR}) - (\text{CMPC} \times \text{CAPITAL}) \quad (\text{A.1})$$

Onde:

EVA[®] = Valor Econômico Agregado;

RO = resultado operacional (sem despesas financeiras);

IR = impostos;

CMPC = Custo Médio Ponderado de Capital;

CAPITAL = capital investido (próprio e de terceiros).

Para aplicação do EVA[®] no nosso exemplo é necessário alguma simplificação. É proposto considerar a unidade de produção do caso base com uma empresa. A figura A.4 mostra como o EVA[®] varia em relação a alguns indicadores.

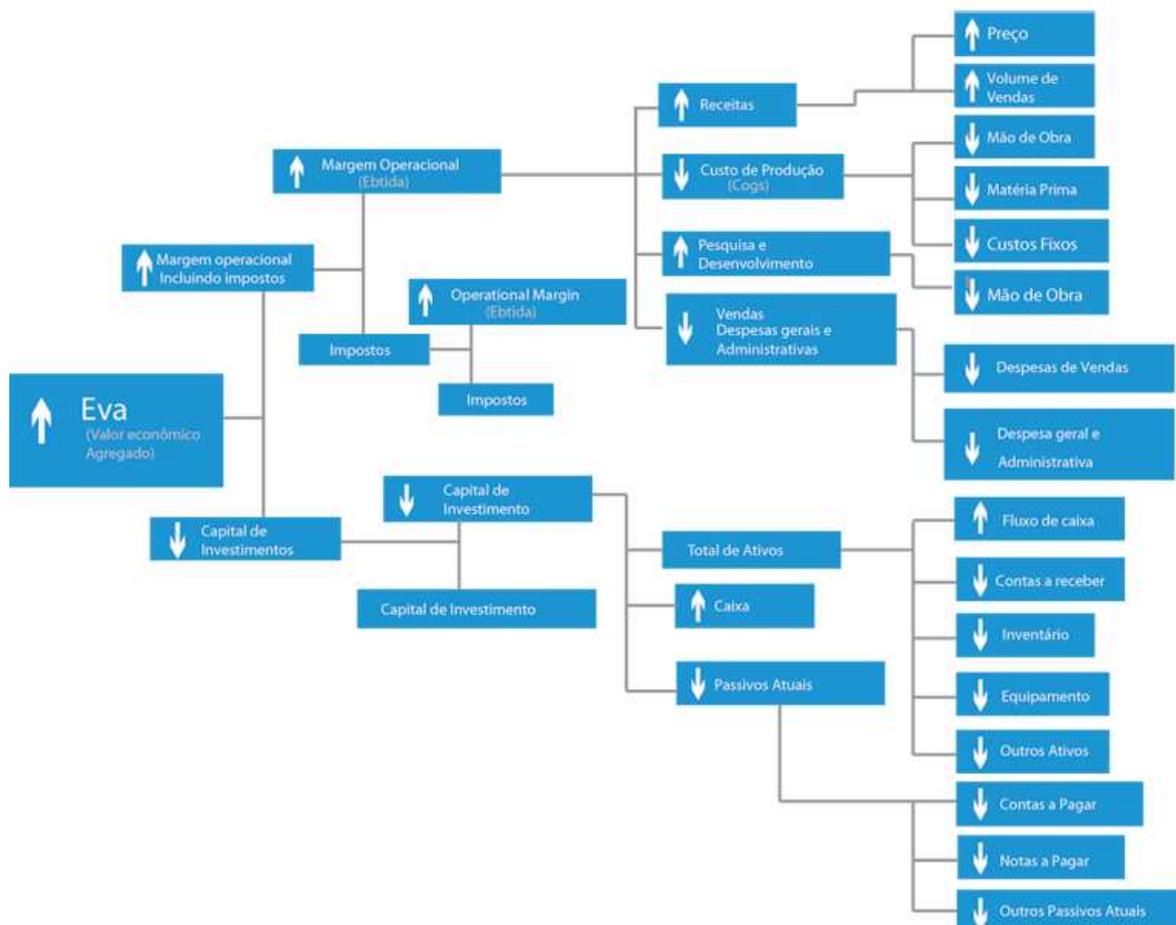


Figura A.4 – Variação do EVA[®] em relação a indicadores.

Como é possível verificar na figura A.4, o EVA[®] aumenta com a redução dos custos de produção e com a elevação das receitas (aumento de produção). Utilizando os resultados apresentados nas tabelas A.2, A.3, A.4 e assumindo que não ocorreu variação no CMPC e no capital da unidade de produção do caso base durante os anos de 2007, 2008 e 2009, a tabela A.5 mostra uma aproximação da variação do EVA[®] para o caso base.

Tabela A.5: Variação do EVA[®] entre 2007 e 2009 para o caso base.

Anos	Variação do EVA [®] (%)
2007	-2,42
2008	- 17,33
2009	59,61

Lembrando que a técnica foi aplicada apenas no ano de 2009, verifica-se pela tabela A.5 que em 2009 a variação do EVA[®] foi positiva, significando geração de riqueza para a unidade de produção.

A geração de valor direta e indireta (despesa evitada) obtida com o gerenciamento de custos e aumento da produção no final do ano de 2009 foi de R\$ 1.950.452,17 (um milhão, novecentos e cinquenta mil, quatrocentos e cinquenta e dois reais e dezessete centavos) em valores não atualizados. A economia e o aumento de produção corresponderam a cerca de 20% do orçamento anual da unidade em estudo.

Por meio de um processo estatístico, é possível extrapolar os resultados obtidos pelo caso base para as demais unidades de produção, ou seja, qual seriam as possibilidades do resultado global se as dez unidades de produção utilizassem a técnica desenvolvida na tese.

A figura A.5 mostra o resultado da extrapolação. A curva foi obtida levando em consideração a produção e o gerenciamento da meta do PMSO total na empresa, expresso em reais (R\$). A faixa de variação utilizada na Simulação de Monte Carlo foi definida por meio da observação do comportamento individual de cada unidade de produção e no seu peso de contribuição ao orçamento total. Na figura A.5, o eixo X representa os valores agregados em milhões de reais e o eixo Y representa a probabilidade de que o valor obtido seja maior do que o valor expresso no eixo X.

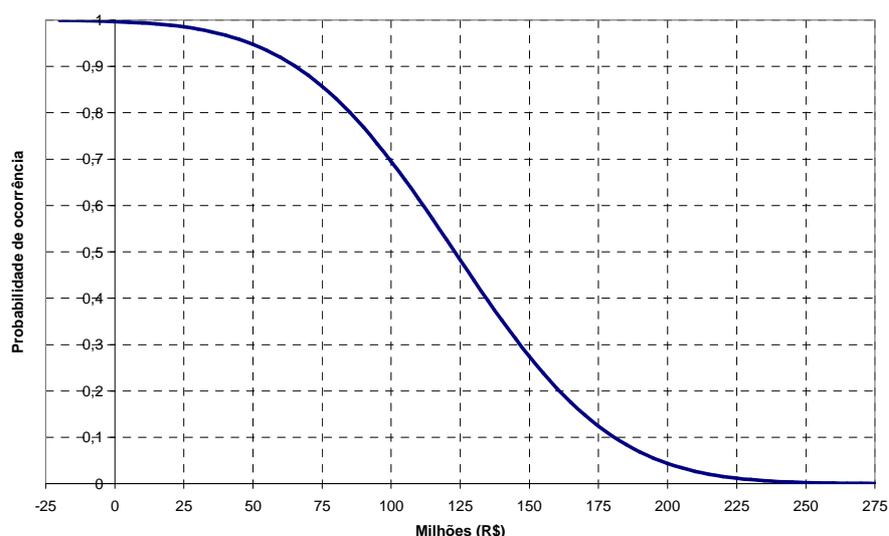


Figura A.5 – Probabilidade de gerenciamento do PMSO extrapolando os resultados para toda a empresa.

APÊNDICE B – DADOS ORIGINAIS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

Tabela B.1: Dados originais para simulação.

Concessionária	Ano	PMS (R\$)	Comprimento LT (km)	Capacidade transformação (MVA)	Transfor-madores	Quantidade módulos
CEEE	2008	129.027.832,53	6.307,24	7.524,90	178	966
CEEE	2007	126.158.992,39	6.289,24	7.092,90	172	950
CEEE	2006	111.744.071,27	6.283,24	7.067,90	171	939
CEEE	2005	104.015.645,93	6.271,24	6.992,90	169	922
CEEE	2004	90.622.615,75	6.247,91	6.992,90	169	915
CEMIG	2008	149005295,72	5968,86	14644,30	126	573,00
CEMIG	2007	134522376,19	5958,06	14644,30	126	544,00
CEMIG	2006	162521840,95	5946,06	14644,30	126	541,00
CEMIG	2005	148007140,03	5946,06	14644,30	126	529,00
CEMIG	2004	124289370,87	5945,66	14644,30	126	525,00
CHESF	2008	525.145.782,69	20.141,24	32.149,00	411	1.813,00
CHESF	2007	491.145.481,96	20.141,24	30.899,00	398	1.773,00
CHESF	2006	366.086.693,42	20.141,24	30.339,00	391	1.746,00
CHESF	2005	417.485.807,39	20.140,54	29.089,00	383	1.702,00
CHESF	2004	391.835.571,85	20.091,64	28.289,00	379	1.678,00
COPEL	2008	82.881.183,74	1.719,38	9.938,00	76	319
COPEL	2007	103.176.415,37	7.250,90	20.267,70	302	1.118,00
COPEL	2006	124.427.981,27	7.171,50	19.817,70	299	1.103,00
COPEL	2005	125.608.326,52	7.169,90	19.067,70	295	1.088,00
COPEL	2004	144.335.029,52	7.149,60	18.342,70	290	1.076,00
CTEEP	2008	269.136.043,53	18.609,13	53.225,35	649	2.204,00
CTEEP	2007	354.008.928,30	18.578,48	51.887,02	626	2.144,00
CTEEP	2006	1.221.868.295,15	18.534,48	49.202,69	596	2.070,00
CTEEP	2005	668.199.422,77	18.300,53	46.508,69	568	1.972,00
CTEEP	2004	672.405.273,74	18.300,53	46.508,69	568	1.959,00
ELETRONORTE	2008	518.956.499,29	7.874,60	16.088,88	182	635
ELETRONORTE	2007	391.920.504,46	7.874,60	15.248,88	172	606
ELETRONORTE	2006	342.039.850,09	7.794,60	14.408,88	161	591
ELETRONORTE	2005	339.999.530,85	7.794,60	14.408,88	161	582
ELETRONORTE	2004	316.976.704,24	7.794,60	14.408,88	161	578
ELETROSUL	2008	275.831.021,78	10.945,22	23.559,80	169	643
ELETROSUL	2007	270.386.061,45	10.776,22	22.437,80	162	582
ELETROSUL	2006	256.705.383,28	10.719,02	20.847,80	149	559
ELETROSUL	2005	215.315.788,67	10.702,72	18.069,80	135	528
ELETROSUL	2004	211.121.467,64	10.649,50	17.799,80	130	491
FURNAS	2008	726.743.872,90	19.120,90	83.705,13	364	801
FURNAS	2007	748.131.620,31	19.120,90	83.705,13	364	787
FURNAS	2006	663.067.934,73	19.120,70	82.205,13	363	779
FURNAS	2005	595.696.538,60	19.120,50	80.195,13	354	759
FURNAS	2004	479.613.932,65	18.748,50	77.261,83	337	726

**APÊNDICE C – FREQUÊNCIA E DURAÇÃO DOS
DESLIGAMENTOS GERENCIÁVEIS E NÃO-GERENCIÁVEIS**

Tabela C.1: Frequência e duração desligamentos da amostra.

Concessionária	Ano	FGE	DGE (h)	FNGE	DNGE (h)	FT
CEEE	2008	180,00	13,54	79,00	11,42	208,00
CEEE	2007	249,00	7,54	107,00	2,57	201,00
CEEE	2006	261,00	11,91	78,00	5,11	199,00
CEEE	2005	265,00	40,33	100,00	1,12	196,00
CEEE	2004	326,00	27,70	48,00	0,77	195,00
CEMIG	2008	352,00	28,29	96,00	8,79	215,00
CEMIG	2007	558,00	31,87	85,00	7,46	214,00
CEMIG	2006	322,00	25,03	16,00	31,09	213,00
CEMIG	2005	349,00	26,03	32,00	5,26	213,00
CEMIG	2004	474,00	46,38	1,00	0,18	212,00
CHESF	2008	1.043,00	12,74	121,00	11,80	588,00
CHESF	2007	1.169,00	19,49	146,00	2,26	571,00
CHESF	2006	1.332,00	20,76	101,00	0,69	562,00
CHESF	2005	1.345,00	14,86	85,00	3,10	551,00
CHESF	2004	1.102,00	14,31	142,00	0,77	545,00
COPEL	2008	169,00	23,76	17,00	8,28	161,00
COPEL	2007	221,00	16,28	27,00	5,32	161,00
COPEL	2006	176,00	24,73	13,00	5,43	157,00
COPEL	2005	174,00	8,11	4,00	0,16	152,00
COPEL	2004	186,00	11,61	1,00	0,08	146,00
CTEEP	2008	671,00	15,03	76,00	5,46	385,00
CTEEP	2007	1.459,00	13,46	59,00	2,65	361,00
CTEEP	2006	1.455,00	14,46	1,00	0,43	328,00
CTEEP	2005	1.635,00	11,08	2,00	5,10	298,00
CTEEP	2004	905,00	19,80	0,00	0,00	298,00
ELETRONORTE	2008	780,00	18,12	86,00	9,02	257,00
ELETRONORTE	2007	547,00	27,74	74,00	1,03	247,00
ELETRONORTE	2006	493,00	19,34	96,00	0,56	235,00
ELETRONORTE	2005	474,00	34,03	90,00	2,47	235,00
ELETRONORTE	2004	209,00	20,17	32,00	3,64	235,00
ELETROSUL	2008	516,00	13,13	53,00	7,12	249,00
ELETROSUL	2007	644,00	10,95	39,00	0,68	240,00
ELETROSUL	2006	627,00	11,20	43,00	2,19	226,00
ELETROSUL	2005	580,00	8,55	49,00	2,29	211,00
ELETROSUL	2004	538,00	18,96	1,00	0,18	205,00
FURNAS	2008	1.385,00	20,75	119,00	4,47	442,00
FURNAS	2007	1.625,00	18,58	107,00	0,89	442,00
FURNAS	2006	1.559,00	19,06	108,00	5,13	441,00
FURNAS	2005	1.624,00	18,15	109,00	0,82	431,00
FURNAS	2004	505,00	16,98	42,00	0,55	412,00

APÊNDICE D – SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A Simulação de Monte Carlo é utilizada na avaliação de fenômenos que se podem caracterizar por um comportamento probabilístico. Por meio da geração de números aleatórios, permite resolver uma quantidade grande de problemas com a simulação de cenários e o posterior cálculo de um valor esperado.

A Simulação de Monte Carlo consiste na execução de um número elevado de simulações, onde em cada uma é escolhido aleatoriamente, dentro de uma faixa especificada, um valor para a variável em estudo.

Segundo as referências não há necessidade de exceder o número de simulações acima de 1.000 vezes, já que depois de um certo tempo as frequências tendem a se estabilizar e as modificações que ocorrem só afetam marginalmente a distribuição de probabilidade. Do total de simulações é retirada média e desvio padrão, com o auxílio dos mesmos é plotado o gráfico da função distribuição acumulada, o qual informa a probabilidade de ocorrência de determinado valor da variável em estudo.

Esta simulação é baseada no Teorema Central do Limite, que diz, que a soma de k distribuições quaisquer, com k tendendo a infinito resulta em uma distribuição normal. Pode ser ilustrado da seguinte forma: para amostras aleatórias simples de uma população com média μ e variância θ^2 , a distribuição amostral da média aproxima-se de uma distribuição normal com média μ e variância θ^2/k , para k tendendo ao infinito. O Teorema Central do Limite é apresentado graficamente na figura C.1.

No atual trabalho, o valor do indicador de Restrição Operativa (RO) não foi fornecido de forma direta pelas fontes de dados. Utilizando uma Simulação de Monte Carlo considerando uma variação entre 1% e 8% do valor do indicador Desligamentos Outros (DO) foram calculados os valores de RO para cada DMU. A figura C.2 mostra a curva utilizada para obtenção dos valores. As 40 DMUs foram distribuídas ao longo do gráfico C.2 e o valor do respectivo RO foi obtido pela multiplicação do valor do indicador DO pelo valor obtido no eixo X (menos 1). A simulação foi executada em Excel[®].

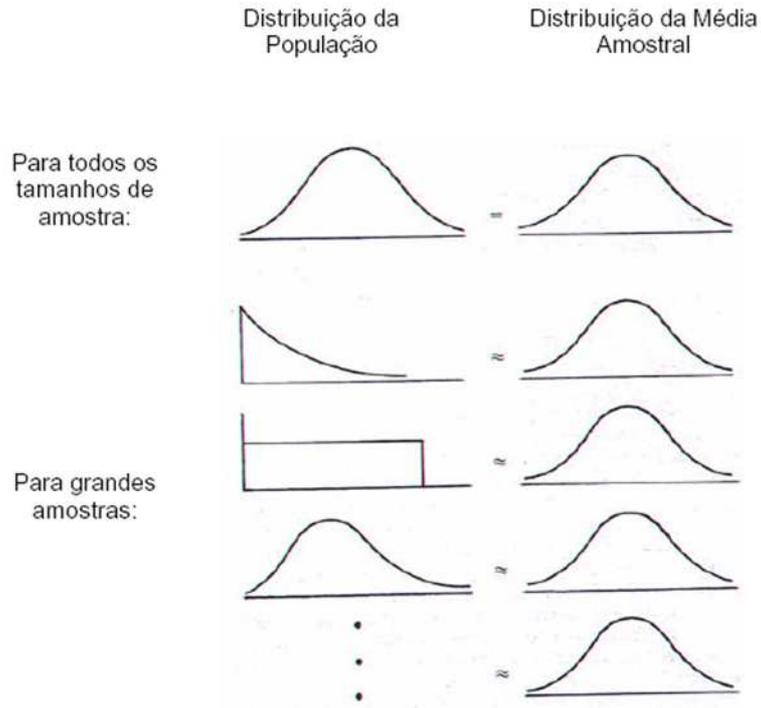


Figura D.1 – Teorema Central do Limite

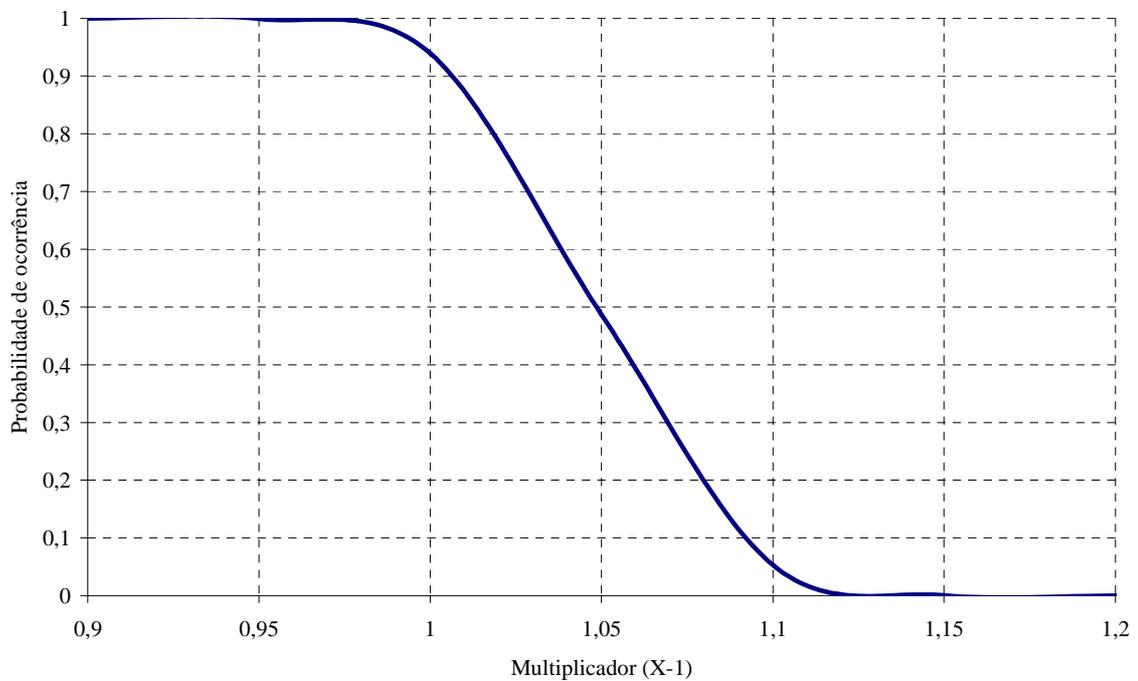


Figura D.2 – Resultado da Simulação de Monte Carlo para obtenção dos valores do indicador de Restrição Operativa.

APÊNDICE E – VARIAÇÃO DO IPCA UTILIZADA NA ATUALIZAÇÃO DOS INDICADORES FINANCEIROS

Tabela E.1 – Variação do IPCA utilizada na atualização dos indicadores econômicos

Data inicial	Data referência para atualização	Variação em percentual (%)	Fator de multiplicação
31/12/2004	31/12/2008	21,28	1,2128
31/12/2005	31/12/2008	14,18	1,1418
31/12/2006	31/12/2008	10,84	1,1084
31/12/2007	31/12/2008	6,38	1,0638

APÊNDICE F - INDICADORES DO BALANÇO IBASE DAS EMPRESAS

Tabela F.1: Variáveis utilizadas no cálculo do índice de sustentabilidade.

Concessionária	Ano	ROL (mil R\$)	ISI (mil R\$)	ISE (mil R\$)	IMA (mil R\$)	FBP (mil R\$)	Empregados
CEEE	2008	605.551,00	62.590,00	52.083,00	3.007,00	149.034,00	1389
CEEE	2007	539.742,00	58.917,00	39.635,00	1.560,00	143.774,00	1333
CEEE	2006	706.983,31	112.753,00	695.805,00	14.485,00	168.872,00	1526
CEEE	2005	1.974.112,00	147.258,00	629.142,00	6.936,00	315.315,00	3269
CEEE	2004	1.687.328,00	153.302,00	551.637,00	8.813,00	294.786,00	3008
CEMIG	2008	10.890.319,00	1.041.833,00	6.755.353,00	70.566,00	1.042.601,00	10422
CEMIG	2007	10.245.914,00	978.737,00	5.471.621,00	44.131,00	995.456,00	10818
CEMIG	2006	9.681.271,00	753.774,00	5.694.442,00	58.112,00	893.475,00	10652
CEMIG	2005	8.235.621,00	730.342,00	5.230.370,00	85.425,00	790.596,00	10271
CEMIG	2004	6.707.407,00	501.666,00	3.941.319,00	141.700,00	784.511,00	10668
CHESF	2008	4.826.300,00	300.452,00	1.035.362,00	15.411,00	561.341,00	5535
CHESF	2007	3.980.753,00	268.445,00	1.134.842,00	13.209,00	490.493,00	5640
CHESF	2006	3.418.213,00	243.660,00	822.769,00	9.184,00	437.595,00	5688
CHESF	2005	3.298.910,00	219.887,00	948.555,00	8.489,00	389.821,00	5628
CHESF	2004	3.502.459,00	183.775,00	768.926,00	5.395,00	348.923,00	5625
COPEL	2008	5.458.778,00	337.030,00	3.329.606,00	122.377,00	630.551,00	8518
COPEL	2007	5.422.126,00	270.966,00	3.178.459,00	100.441,00	587.021,00	8441
COPEL	2006	5.384.608,00	345.584,00	3.292.140,00	89.455,00	579.944,00	8204
COPEL	2005	4.853.536,00	333.136,00	2.679.213,00	50.093,00	542.981,00	7775
COPEL	2004	3.925.774,00	325.389,00	2.192.252,00	19.145,00	456.680,00	6807
CTEEP	2008	1.564.068,00	61.959,00	352.631,00	741,00	161.280,00	1327
CTEEP	2007	1.315.414,00	90.394,00	359.436,00	356,00	211.579,00	1290
CTEEP	2006	1.323.004,00	134.696,00	56.051,00	568,00	427.654,00	2412
CTEEP	2005	1.205.213,00	132.530,00	93.566,00	853,00	342.517,00	2927
CTEEP	2004	1.097.994,00	126.131,00	86.159,00	651,00	329.973,00	2985
ELETRONORTE	2008	3.810.033,00	438.050,00	930.937,00	23.078,00	446.316,00	3725
ELETRONORTE	2007	3.765.128,00	292.139,00	831.014,00	28.863,00	352.878,00	3613
ELETRONORTE	2006	3.203.672,00	239.462,00	459.393,00	34.835,00	277.867,00	2707
ELETRONORTE	2005	3.433.386,00	150.113,00	483.379,00	19.850,00	256.423,00	2570
ELETRONORTE	2004	2.954.826,00	137.059,00	358.389,00	14.949,00	193.501,00	2390
ELETROSUL	2008	638.958,00	126.284,00	181.321,00	554,00	162.216,00	1583
ELETROSUL	2007	549.145,00	112.091,00	136.116,00	897,00	143.694,00	1553
ELETROSUL	2006	554.306,00	95.912,00	98.202,00	409,00	133.785,00	1525
ELETROSUL	2005	468.394,00	99.084,00	70.414,00	344,00	93.766,00	1458
ELETROSUL	2004	456.357,00	81.589,00	95.515,00	278,00	85.734,00	1325
FURNAS	2008	5.771.647,00	504.842,00	628.177,00	44.748,00	820.101,00	4724
FURNAS	2007	5.105.173,00	452.443,00	684.420,00	34.890,00	767.315,00	4534
FURNAS	2006	5.324.565,00	464.412,00	569.319,00	24.908,00	617.371,00	4525
FURNAS	2005	5.052.559,00	422.044,00	801.916,00	20.845,00	532.723,00	4581
FURNAS	2004	4.614.153,00	343.522,00	590.180,00	15.293,00	413.466,00	4237

APÊNDICE G – CÁLCULO DE CORRELAÇÃO ENTRE INDICADORES

É muito comum em qualquer pesquisa baseada em variáveis essencialmente quantitativas tentar medir o grau de relacionamento entre essas variáveis. No caso da relação ser linear, isto pode ser feito por meio do coeficiente de correlação linear. É o caso, por exemplo, quando a pesquisadora propõe uma teoria ou hipótese que interliga dois fenômenos, e então comprova estatisticamente a existência da relação, utilizando-se de amostras de variáveis relevantes no âmbito da teoria proposta (Samohyl, 2000).

Isso não significa necessariamente que existe uma relação de causa e efeito entre as variáveis, mas tão somente, sugere a existência de um relacionamento entre duas variáveis. O relacionamento entre variáveis é necessário para comprovar causa e efeito, mas não é suficiente para ser prova definitiva.

A utilização de ferramentas em Estatística apenas desvenda relações entre variáveis, e, por outro lado, o conhecimento do processo sob estudo confirma ou não as causalidades inerentes. No caso industrial, por exemplo, é imprescindível analisar como os insumos em um processo produtivo relacionam com características de qualidade dos produtos e processos.

Encontrando as relações existentes no processo, o engenheiro pode melhorar o resultado, economizar recursos materiais e humanas, e oferecer em geral um processo otimizado. O engenheiro encontra algumas relações entre variáveis as quais ele selecionou na base de conhecimento teórico e prático que ele possui sobre o processo sob estudo. Ele combina corretamente as ferramentas de Estatística e a sua própria experiência para conhecer e em seguida melhorar seu resultado (Samohyl, 2000).

O coeficiente de correlação é uma ferramenta simples, porém muito eficiente, para estimar o grau de relacionamento linear entre variáveis. Atrás desse coeficiente de correlação está outro conceito estatístico, denominado por covariância. A covariância e variância são na teoria conceitos muito próximos. A diferença é que a covariância mede a relação entre

duas variáveis distintas enquanto a variância depende de uma única variável. Por definição, a covariância populacional entre duas variáveis é dada pela seguinte expressão:

$$\sigma_{XY} = \frac{\sum (X_t - \mu_X)(Y_t - \mu_Y)}{T} \quad (\text{G.1})$$

Onde μ_X e μ_Y são as médias populacionais de X_t e Y_t , e T é o número de elementos da população. A variância populacional é uma expressão similar, mas com apenas uma única variável envolvida fazendo com que a expressão possa ser escrita da seguinte forma:

$$\sigma_X^2 = \frac{\sum (X_t - \mu_X)(X_t - \mu_X)}{T} = \frac{\sum (X_t - \mu_X)^2}{T} \quad (\text{G.2})$$

O desvio padrão de X_t é a raiz quadrada da sua variância. Em termos de uma amostra, a covariância é modificada para levar em conta um menor número de graus de liberdade, onde na fórmula seguinte, T é o tamanho da amostra e os graus de liberdade são dados por $(T - 1)$. Além disso, na maioria das vezes, nós jamais vamos saber quais são os verdadeiros valores das médias populacionais das variáveis de X_t e Y_t . Por isto, elas são substituídas pelas médias amostrais, e nesse caso temos a seguinte expressão para a covariância amostral:

$$S_{XY} = \frac{\sum (X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{T - 1} \quad (\text{G.3})$$

Infelizmente, a covariância não é palpável como estimador de relacionamento, no sentido de que assume valores de menos a mais infinito, sem ter um ponto de referência que delimita um grau forte de relacionamento de um grau fraco. Portanto, a covariância não consegue revelar o que seria uma relação forte nem fraca. Para resolver esse problema, a covariância é dividida pelo produto dos desvios padrão das amostras das duas variáveis X_t e Y_t (S_X e S_Y), e conseqüentemente essa nova expressão fica padronizada. Essa nova medida de relacionamento é chamada justamente de coeficiente de correlação (r). Os valores do coeficiente de correlação estão sempre contidos no intervalo $[-1, +1]$, ou seja, $-1 \leq r_{XY} \leq 1$.

Este é um resultado muito importante, por que pelo fato de ser padronizado, o coeficiente de correlação não depende da escala nem da locação das variáveis X_t e Y_t . O coeficiente de correlação pode ser escrito de diversas maneiras. As equações F.4 e F.5 apresentam duas formas.

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} \hat{=} S_{XY} = r_{XY} S_X S_Y \quad (\text{G.4})$$

$$r = \frac{\sum (X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_t - \bar{X})^2} \sqrt{\sum (Y_t - \bar{Y})^2}} \quad (\text{G.5})$$

Quando o coeficiente de correlação for igual a menos um ($r = -1$) a relação entre as variáveis é perfeitamente negativa e quando for unitária positiva, a relação é perfeitamente positiva. Na prática, esses valores extremos não são encontrados em pesquisas no mundo real, mas servem de pontos de referência. Claro, um valor igual a zero significa ausência de relacionamento linear. Obviamente são os valores intermediários que vão ocupar nossas preocupações em situações reais, e, mais tarde, vamos falar do coeficiente de correlação em termos de testes de hipótese para, assim, resolver as ambigüidades.

O Microsoft Excel oferece um conjunto de ferramentas de análise de dados chamada Ferramentas de Análise, que você pode usar para salvar as etapas ao desenvolver análises estatísticas ou de engenharia complexas. Você fornece os dados e os parâmetros. A ferramenta usa as funções de macro estatísticas e de engenharia apropriadas e exhibe os resultados em uma tabela de saída. Algumas ferramentas geram gráficos além das tabelas de saída.

As funções de planilha CORREL e PEARSON calculam o coeficiente de correlação entre duas variáveis de medida quando as medições em cada variável são observadas para cada N assuntos.

A ferramenta de análise Correlação é particularmente útil quando há mais de duas variáveis de medida para cada N assuntos. Ela fornece uma tabela de saída, ou seja, uma matriz de correlação, mostrando o valor da função CORREL (ou PEARSON) aplicada a cada par possível das variáveis de medida.

O coeficiente de correlação, como a covariância, é uma forma de medir até que ponto as variáveis de medida “se movem juntas”. Diferente da covariância, o coeficiente de correlação é escalonado de modo que seu valor seja independente das unidades em que as duas variáveis de medida são expressas. (Por exemplo, se as duas variáveis de medida forem peso e altura, o valor do coeficiente de correlação ficará inalterado caso o peso seja convertido de libras em quilogramas.) O valor de qualquer coeficiente de correlação deve estar entre -1 e +1, inclusive.

Você pode usar a ferramenta de análise de correlação para examinar cada par de variáveis de medida e determinar se as duas variáveis tendem a se mover juntas, ou seja, se os valores altos de uma variável tendem a ser associados aos valores altos da outra (correlação positiva), se os valores baixos de uma variável tendem a ser associados aos valores altos da outra (correlação negativa) ou se os valores das duas variáveis tendem a não se relacionar (correlação próxima de zero).

**APÊNDICE H – PADRÃO DE DURAÇÃO DE DESLIGAMENTO,
PADRÃO DE FREQUÊNCIA DE OUTROS DESLIGAMENTOS E
FATORES KO E KP DEFINIDOS NA RESOLUÇÃO ANEEL 270/2007**

Função Transmissão	Família de Equipamento	Padrão de Duração de Desligamento		Padrão de Frequência de Outros Desligamentos (desl./ano)	Fator Ko		Fator Kp		
		Programado (hora/ano)	Outros (hora/ano)		Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	
LT	≤ 5km(*)	26,0	0,5	1	100	150	6,67	10	
	>5km e ≤50Km(*)	26,0	1,4	1					
	>50km - 230kV	21,0	2,5	4					
	345kV	21,0	1,5	3					
	440kV	38,0	2,8	3					
	500kV	38,0	2,3	4					
	750kV	38,0	2,3	4					
	Cabo Isolado(*)	54,0	22,0	-	50	50	2,5	2,5	
TR	≤345kV	21,0	2,0	1	100	150	6,67	10	
	>345kV	27,0	2,0	1					
CR	REA	≤345kV	58,0	2,0	1	100	150	6,67	10
		>345kV	26,0	2,0	1				
	CRE	(*)	73,0	34,0	3	100	150	5,0	7,5
	CSI	(*)	666,0	17,0	3	50	50	2,5	2,5
	BC	(*)	46,0	3,0	3	50	100	2,5	5,0
	CSE	(*)	20,0	6,0	3	100	150	5,0	7,5

(*) Qualquer nível de tensão de uso na Rede Básica.

(**) Período de 666 horas em 2 anos.

LEGENDA:

LT- Linha de Transmissão

TR- Transformação

CR- Controle de Reativo

REA- Reator

CRE- Compensador Estático

CSI- Compensador Síncrono

BC- Banco de Capacitor

CSE- Compensação Série

Ko- Fator multiplicador para Outros Desligamentos

Kp- Fator multiplicador para Desligamento Programado

Ano 1 e Ano 2- Períodos que correspondem ao primeiro e segundo ano de implantação da metodologia, conforme definido no “caput” do art. 42 desta Resolução.

**APÊNDICE I - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS
INDICADORES DE FORMAÇÃO E OS ÍNDICES ID E IS PARA
CADA EMPRESA**

Tabela I.1: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a CEEE entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	-0,71	1,00			
RO	-0,57	0,91	1,00		
HDF	-0,22	-0,54	-0,57	1,00	
ID	-0,72	0,04	0,01	0,80	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	0,56	1,00				
ISE	0,92	0,27	1,00			
IA	0,53	-0,12	0,80	1,00		
FPB	0,35	0,64	0,31	0,20	1,00	
IS	0,91	0,38	0,98	0,81	0,46	1,00

Tabela I.2: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a CEMIG entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	-0,42	1,00			
RO	-0,13	0,69	1,00		
HDF	-0,66	-0,41	-0,44	1,00	
ID	-0,80	-0,15	-0,13	0,92	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	0,91	1,00				
ISE	0,86	0,77	1,00			
IA	-0,95	-0,87	-0,71	1,00		
FPB	0,76	0,81	0,51	-0,68	1,00	
IS	0,54	0,52	0,88	-0,30	0,33	1,00

Tabela I.3: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a CHESF entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	-0,71	1,00			
RO	-0,71	0,99	1,00		
HDF	-0,01	-0,70	-0,68	1,00	
ID	-0,50	-0,25	-0,25	0,87	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	0,54	1,00				
ISE	0,23	0,48	1,00			
IA	0,60	0,98	0,63	1,00		
FPB	0,70	0,98	0,44	0,97	1,00	
IS	-0,27	0,56	0,70	0,57	0,40	1,00

Tabela I.4: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a COPEL entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	0,76	1,00			
RO	0,78	0,93	1,00		
HDF	-0,95	-0,93	-0,90	1,00	
ID	-0,80	-0,59	-0,56	0,75	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	0,56	1,00				
ISE	0,59	-0,10	1,00			
IA	-0,46	-0,96	0,33	1,00		
FPB	0,70	0,94	0,04	-0,90	1,00	
IS	0,75	0,79	0,32	-0,70	0,94	1,00

Tabela I.5: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a CTEEP entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	-0,98	1,00			
RO	-0,95	0,99	1,00		
HDF	-0,99	0,93	0,88	1,00	
ID	-0,34	0,22	0,20	0,42	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	0,26	1,00				
ISE	0,96	0,34	1,00			
IA	0,66	-0,54	0,56	1,00		
FPB	-0,03	0,79	-0,09	-0,61	1,00	
IS	0,00	0,93	0,16	-0,71	0,64	1,00

Tabela I.6: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a ELETRONORTE entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	0,26	1,00			
RO	0,28	0,99	1,00		
HDF	-0,83	-0,76	-0,77	1,00	
ID	-0,56	-0,54	-0,64	0,69	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	-0,85	1,00				
ISE	-0,79	0,50	1,00			
IA	0,22	0,00	-0,54	1,00		
FPB	-0,39	0,65	0,42	0,10	1,00	
IS	-0,89	0,97	0,53	0,15	0,61	1,00

Tabela I.7: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a ELETROSUL entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	-0,53	1,00			
RO	-0,51	0,99	1,00		
HDF	-0,58	-0,38	-0,40	1,00	
ID	-0,97	0,37	0,33	0,71	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	-0,33	1,00				
ISE	0,47	0,45	1,00			
IA	-0,40	0,25	0,38	1,00		
FPB	0,19	-0,01	0,69	0,55	1,00	
IS	-0,05	0,53	0,78	0,57	0,84	1,00

Tabela I.8: Coeficientes de correlação entre as variáveis de formação e os índices ID e IS para a FURNAS entre os anos de 2004 e 2008.

Coeficiente de correlação (R)					
	DP	DO	RO	HDF	ID
DP	1,00				
DO	0,46	1,00			
RO	0,28	0,71	1,00		
HDF	-0,95	-0,71	-0,46	1,00	
ID	-0,99	-0,56	-0,34	0,98	1,00

Coeficiente de correlação (R)						
	ROL	ISI	ISE	IA	FPB	IS
ROL	1,00					
ISI	-0,16	1,00				
ISE	0,10	-0,49	1,00			
IA	-0,82	0,37	-0,63	1,00		
FPB	-0,84	0,51	-0,58	0,94	1,00	
IS	-0,05	0,96	-0,57	0,30	0,48	1,00

ANEXOS

ANEXO 1 – ARTIGO ENVIADO PARA PUBLICAÇÃO

Applying double perspective-data envelopment analysis to the benchmarking process of public utilities

Lanier Peterson Castelo Branco Sampaio *, Fernando Monteiro de Figueiredo

Universidade de Brasília, Electrical Engineering Department, Brasil

Abstract

DEA models are utilized by a variety of regulatory agencies in the process of benchmarking operational costs of public utilities. Usually, the procedure involves a smaller number of samples, non-homogenous sets and conflicting interests. The methodology used must take into consideration this scenario and avoid bias in favor of one of the agents, weighing the powers and obtaining a reasonable result for all those involved. This study proposes applying Double Perspective-Data Envelopment Analysis to obtain a competitive set that satisfies the objectives considering several points of view. The objective is to reduce regulatory risks like captive results and the presence of outliers. In order to do this, two DEA models are used to get a normal and an inverted frontier where the distance between them is calculated and the characteristics of the set are identified. The concept is applied innovatively to a real situation in Brazil's electric power transmission sector. The results demonstrate that the DP-DEA method complements and validates the traditional DEA approach, modeling imperfections and the power of the market, providing degrees of liberty for negotiation and the continued improvement. It also contributes to aiding regulators in maintaining balance among the variety of agents involved with transparency and without eliminating the incentive to reduce operational costs thereby guaranteeing electric power supply security and the quality of services.

Keywords: Data Envelopment Analysis; Double Perspective-Data Envelopment Analysis; PO in energy; regulation; power transmission.

1. Introduction

Brazil's electric power sector went through great changes in the 1990's which culminated in the emergence of its current regulatory model. A comprehensive process of de-verticalization and privatizations of companies in the electric power sector took place. This

made it possible for a significant increase in the number of agents in the areas of generation, transmission, distribution and in the commercialization of electric power.

More specifically from an organizational point of view, the Brazilian electric power transmission sector has multiple owners of different sizes, nature and composition with each one seeking out their own business goals. Depending on their concession areas, companies operate in distinct demographic, topographic and social regions. The regulation of transmission utilities is done through incentives. This means that the regulated utility company is encouraged to make improvements in efficiency since these improvements will be retained by the company. From this point of view, society has its objectives protected given that pursuing efficiency on the part of public utility companies would end up generating lower electricity rates.

It is easy to perceive that agents in the sector have conflicting interests since it is necessary to have mechanisms for maintaining stability and minimizing risks. According to Pedrosa (2005), the scenario consists of a triad with the *Agência Nacional de Energia Elétrica* (ANEEL), the Brazilian Electricity Regulatory Agency, which is the regulating body conciliating the varied interests involved. There is the government that is looking to balance the budget and to generate income. Then there is the consumer, who is anxious to experience social inclusion and a better standard of living, while tending to want energy that is cheap and plentiful. Finally, there is the investor who wants a return on capital used for long-term assets, thus maximizing profits. The role of the regulator is to design a balance between these agents: protecting those involved from abuse of market power; envisioning the sector's sustainability and attracting investments; securing a fair rate for consumers; and establishing revenue for the utility distributor that is capable of guaranteeing the economic-financial balance of what is distributed.

Efficiency, by definition, expresses an ideal relationship between resources produced and inputs used. As can be found the Jamasb and Pollitt (2000) and Mota (2004), there are a variety of models used to evaluate efficiency in regulated environments, for example the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology. The analysis of DEA evaluates the efficiency of observed production units taking into consideration multiple aspects that are involved in diverse activities performed and to then compare such performance with other similar organizations.

When the units analyzed by the DEA method have the same inputs and outputs used in common, the group is homogenous and the units have autonomy in decision making. Souza (2006) points out that the results from the DEA approach usually provide efficiency values that do not have great deviations. Therefore, it is possible that a particular unit or group of units from the set being analyzed perform excellently thus characterizing alterations in the rest of the unit's scores and classifying them as having a relatively low efficiency. With this kind of occurrence, the frequency distribution of efficiency shows asymmetrical behavior. To minimize this effect in analyses employing the DEA method, a visual examination of the data utilized is made. Another possibility according to Sousa and Stosic (2005) is a stochastic reduction of the impact of the more influential units in relation to the efficiency scores used. It is even possible to utilize outlier identification techniques on the sample set.

The proposal of this study is to apply Double Perspective-Data Envelopment Analysis (DP-DEA), Novaes (2002) and Lins et al. (2005) to innovatively make a model of imperfections and market power to identify efficient operating costs of public utility, complementing the DEA approach and minimizing the risk of captive efficiency scores for any of the agents involved. The concept of DP-DEA applies itself in a very interesting way to situations in which there are conflicting interests, as in the regulatory environment. The goal is to achieve a competitive set where provisions do not benefit one agent over another thereby acceptably satisfying the diverse interests involved by varying the distance between frontiers. Two DEA models are used, each having the purpose of addressing one perspective under analysis. The methodology is presented using a case study which utilizes a databank from the second cycle of the periodic tariff review of Brazilian electric power transmission companies. The results obtained are analyzed and in accordance with the distance utilized, show less volatility when compared with the traditional DEA method which indicates a greater degree of practical application and treatment of outliers.

2. Regulation and the mechanisms for modifying revenue in Brazil

In Brazil, the regulatory body for the energy sector is the *Agência Nacional de Energia Elétrica* (ANEEL) or the Brazilian Electricity Regulatory Agency, a government entity under a special regime, linked to the Ministry of Mines and Energy. Its mission is to

regulate and monitor the production, transmission, distribution and marketing of electric power in accordance with government policies and decrees.

Part of the basis for the current model of Brazil's electricity sector is the increase in low electricity rates used as a tool for social inclusion, improving the standard of living and economic development, as well as securing the power supply. The electric power transmission companies make their assets available and in exchange they receive a *Receita Anual Permitida (RAP)*. As such, it is necessary to reach a *RAP* value for transmission companies that reflects, with the greatest possible accuracy, a fair return on the initial investment and operating costs, while honoring the basis for low electricity rates.

For Sousa et al (2007), there is no agreement in regards to conditions for denominating low electricity rates. It may be said that rates are low when they allow everyone to take advantage of public utilities, thus not preventing those with lower incomes from having access. However, a low electricity rate does not necessarily mean a cheap rate. It means the lowest admissible price which permits guaranteeing the supply and the quality of services. It is a rate which guarantees that the supply of power is greater than its demand and also guarantees that its quality is acceptable.

The periodic tariff review for transmission constitutes the regulatory instrument through which it is ensured that gains made through business efficiency are expressed in low energy rates. In the review, the tariffs are adjusted, higher or lower, according to a methodology that consists of reviewing the conditions of a public utility's performance.

The result of the review is a readjustment of the tariffs. This consists of calculating the public utility's *RAP* to be compatible with covering efficient operating costs while also having an adequate return on the capital prudently invested. In Brazil, the periodic tariff review for the electric power transmission sector is carried out every four years. Currently, ANEEL applies the DEA approach in two stages. For Simar and Wilson, (2005), in the first stage, traditional variables are utilized and in the second stage, efficiency scores are adjusted using environmental variables and regression models to identify efficient operating costs.

3. Data Envelopment Analysis – DEA

The Data Envelopment Analysis – DEA method was inserted into literature’s bibliography by Charnes et al. (1978). The idea of the study was to obtain a model to measure efficiency without having to use weights determined *a priori* for each variable and without having to transform the values into comparative economic values. Since the method’s insertion, important contributions have emerged with the aim of perfecting the technique for working with real situations where there are several kinds of variables, scenarios, and the incorporation of specialized knowledge.

DEA evaluates the efficiency of observed production units by considering the multiple aspects that are involved in a variety of activities carried out and compare this performance with other similar entities. In other words, the DEA technique provides only the relative efficiency of a certain production unit in relation to the set and not to absolute efficiency. This allows for verifying through observation, but does not compare to the theoretic maximum.

DEA is basically a nonparametric technique. In this approach *a priori* suppositions are not made about the analytical form of the production function. A function of the best practice is empirically constructed based on the inputs and outputs observed. This function is linear in parts and as such, it would be an approximation of the correct function if this truly existed. In the DEA approach, the units of production are considered as Decision Making Units (DMUs) being that each DMU is an entity responsible for converting inputs into outputs.

Charnes et al. (1978) proposed a model entitled CCR (Charnes, Cooper and Rhodes) that assumed the orientation for inputs and considered constant returns to scale. After this first proposal, other studies presented a series of alternatives for a type of model that could be applied to execute the DEA approach. Banker et al. (1984) exchanged constant returns to scale for variable returns thus introducing the BCC model. More details about these models may be obtained in Mello et al. (2005). The DEA approach requires that the DMUs have some homogeneity or that they should carry out similar activities, produce in similar environments, have autonomy in decision making and have access to the same inputs, and finally that they only be different in the quantity of inputs consumed and in the outputs produced.

4. Double Perspective-Data Envelopment – DP-DEA

Double Perspective-Data Envelopment Analysis (DP-DEA) was developed by Novaes (2002) and is based on the inverted frontier concept. For Novaes (2002), merchandise is represented as a good or service. In the class of services, public or private infrastructure services are included. The competitive space obtained from DP-DEA embodies the interaction of agents at work in a balanced market.

The inverted frontier was introduced by Yamada et al. (1994) and Entani et al. (2002). The methodology emerged from the need for increasing the discriminatory capacity of original DEA models. When applying DEA models, a large number of DMUs displaying an efficiency of 100% may occur. This fact is directly linked to the number of input and output variables as well as to the number of DMUs analyzed. The greater the number of variables or the lesser the number of DMUs, the worse the identification is of truly efficient units.

To distinguish between these DMUs, the concept of inverted frontiers is applied which consists of inverting outputs with inputs and inputs with outputs. In accordance with the approach used, proceed normally to find efficiency. Fig. 1 demonstrates a normal frontier and Fig.2 an inverted frontier.

As reported by Mello et al. (2003), it is possible to make a more complete analysis of the situation by employing the inverted frontier methodology. This is due to it evaluating the DMUs where they are inefficient meaning that the DMU should be efficient in what it does exceedingly well and should not perform poorly in other tasks. DMUs evaluated as efficient with the standard frontier appear inefficient with the inverted frontier. Consequently, for a given DMU to really be efficient, it should have an elevated degree of relevance in relation to the standard frontier and a low degree in respect to the inverted frontier.

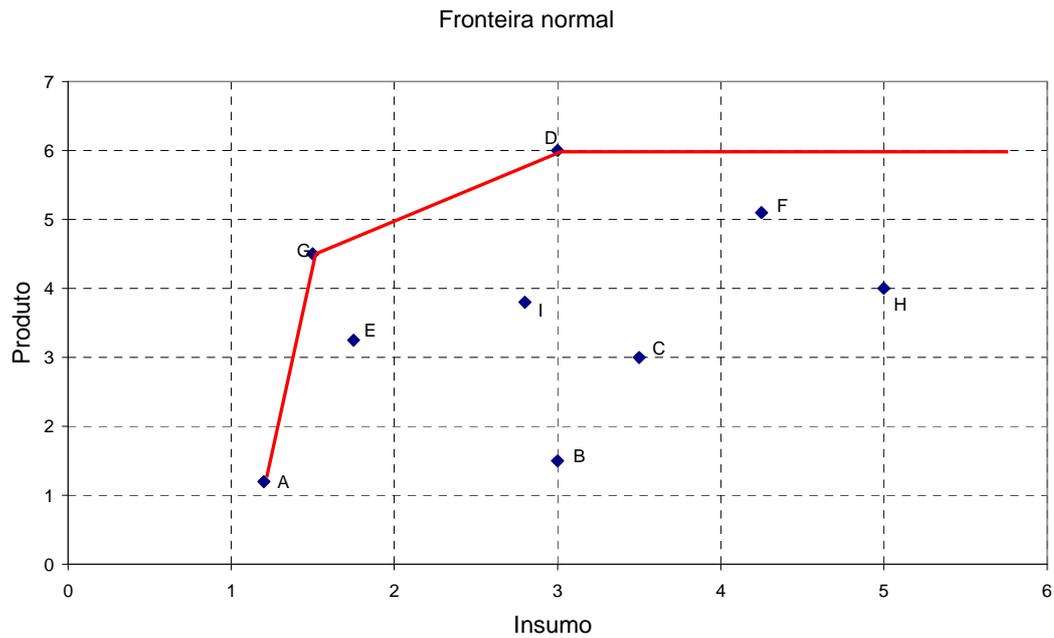


Fig. 1. Standard frontier efficiency considering only input and output.

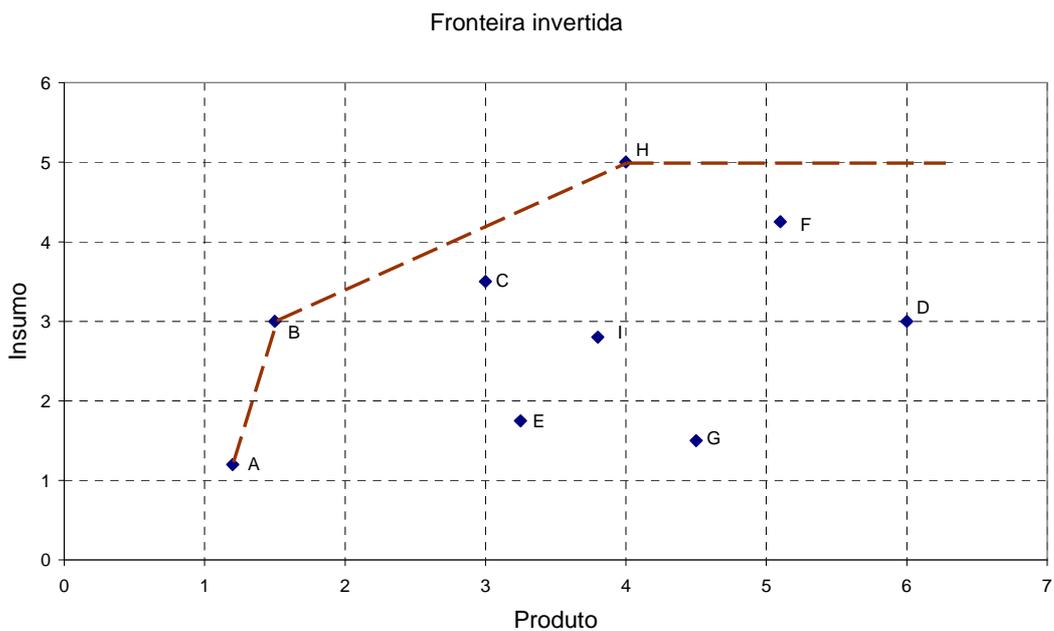


Fig. 2. Inverted frontier efficiency considering only input and output.

In this way, all of the variables are taken into account in the final index. The efficiency composed is the result of the standard and inverted frontier DMU analysis. According to Meza et al. (2007), the result is reached through the arithmetic mean of the standard efficiency and the value obtained by subtracting the inverted efficiency from the unit:

$$E_{COMPOSED} = \left[\frac{E_{STANDARD} + (1 - E_{INVERTED})}{2} \right] \quad (1)$$

For Mello et al. (2003), the inverted frontier DEA model reveals itself to be useful in improving discrimination among efficient DMUs. The method avoids having a DMU evaluated only by its more favorable results. As demonstrated in Novaes (2002) and Lins et al. (2005), deriving the DP-DEA from the inverted frontier concept requires transposing the graph in Fig. 1 and adding the results of the Fig. 2 graph. Fig. 3 shows this process:

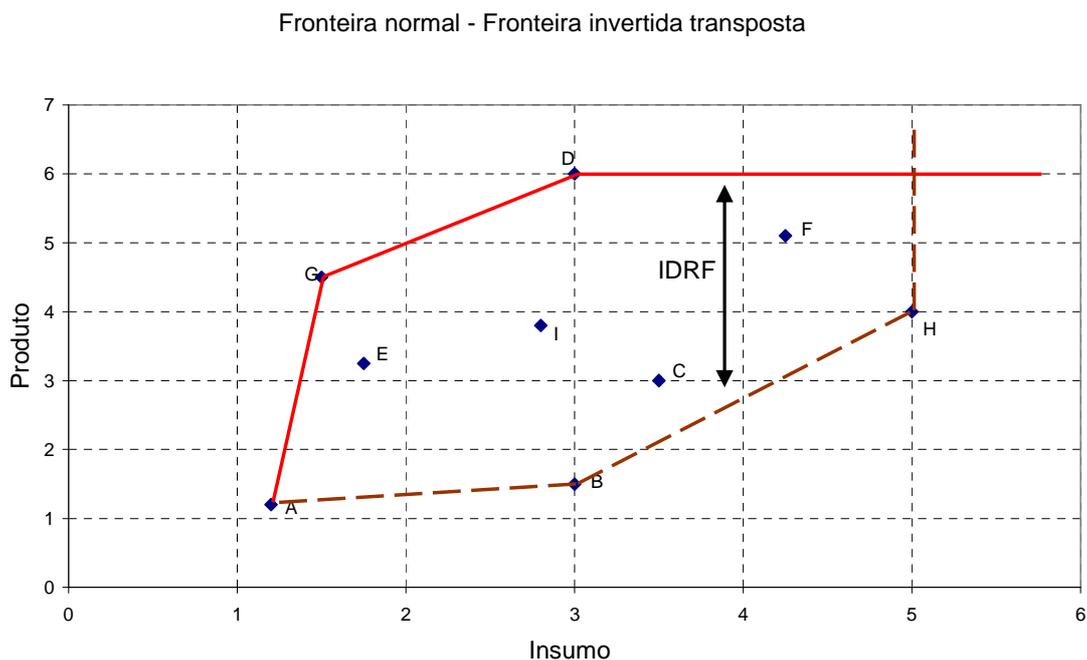


Fig. 3. Graphic example of Double Perspective-Data Envelopment

With Fig. 3 it may be observed that to construct DP-DEA, two DEA models are used. Each one will have the same kind of orientation, for input or output. The difference takes place in the perception of efficiency thus addressing the conflicting interests of those involved. The differing positions between the perspectives are arrived at through inverting inputs with outputs which means that the input in one becomes the output in the other. Double Perspective-Data Envelopment encapsulates the DMUs and is able to verify certain behaviors. The efficiency score is calculated from the classic DEA models. For Novaes (2002), DP-DEA stands out significantly in cases in which there are conflicting interests regarding the same question, that of quantifying differences. Each economic agent reaches a point of equilibrium when something is maximized. For example, the electric energy consumer maximizes satisfaction (quality of life) or utility (social inclusion) subject to

budgetary restrictions (abundant and cheap energy). The transmission public utility for electric power maximizes profit (a return on capital) subject to restrictions imposed by its production function.

Novaes (2002) and Lins et al. (2005) affirm that modeling imperfections and analyzing market risk are the main contributions of the method. Through constructing DP-DEA, the parts involved can make concessions and arrive at an intermediate result that plausibly meets their interests given that a market only exists when economic agents are satisfied.

A competitive set is formed by the DMUs that do not show tendencies that benefit any of the agents involved. They are considered as units having competitive outputs that also make the market viable and minimize its uncertainties.

The acronym IRDF (Index of Relative Distance between Frontiers) that is shown in Figure 3 is the indicator obtained through the very definition of the double envelopment model. This index measures the magnitude of the value possibilities that the variables in this study may have. It corresponds to the interval between the two frontiers constructed and its function is to identify the extent of this and to provide a mechanism for adjustment between the competitive set's frontiers. The IRDF can be calculated from equation (2) derived from Novaes (2002).

$$IDRF = 2 \times \left\{ \frac{\left[\left(\frac{1}{E_{INVERTED}} \right) - E_{STANDARD} \right]}{\left[\left(\frac{1}{E_{INVERTED}} \right) + E_{STANDARD} \right]} \right\} \quad (2)$$

5. Case study: electric power concessions in Brazil

This section demonstrates the application of the DP-DEA method to find a competitive set of Brazilian electric power transmission companies. This process begins with the execution of a normal DEA approach with the subsequent use of the DP-DEA method. The source of the databank utilized is the annex I of Technical Notes 274/2009 and 396/2009 (Operational Cost Benchmarking of Electric Power Transmission – Second Cycle of Tariff

Reviews 2009-2013) from ANEEL. From the original data, 40 observations are utilized in a panel of eight companies from the years between 2004 and 2008. The variables representative of the inputs and outputs were kept equal.

In this study, the BCC (Banker, Charnes, and Cooper) model is utilized for the traditional DEA method. According to Banker et al. (1984), the BCC model has the feature of being better able to approximate reality than the CCR model. This choice was made owing to the fact that the CCR model is suitable only when all of the companies are operating at optimal scale. Market imperfections and other characteristics may cause public utilities to operate at less than optimal scale. Using the BCC model is justified by the characteristics of the databank where uniformity among the units' scale of production cannot be perceived.

To minimize the effect of the reduced number of observations and to increase the discriminatory power of the DEA method using the inverted frontier resource, the normalized composed efficiency score is employed as the standard for measurement. To commence the DEA model and to carry out the efficiency analysis, a free program developed by Tom Coelli (1996) was used called DEAP or Data Envelopment Analysis Program. Table 1 shows the results of the traditional method, the normalized composed efficiency and the IRDF in the year 2008.

Table 1

Efficiency score and IRDF (Index of Relative Distance between Frontiers)

Public Utility	Year	Efficiency score (%)				IRDF (%)
		Standard	Inverted	Composed	Composed*	
CEEE	2008	72.79	97.02	37.88	42.91	34.44
CEMIG	2008	68.81	72.79	48.01	54.38	66.51
CHESF	2008	100.00	53.80	73.10	82.80	60.08
COPEL	2008	100.00	100.00	50.00	56.64	0.00
CTEEP	2008	100.00	23.43	88.28	100.00	124.07
ELETRONORTE	2008	21.70	100.00	10.85	12.29	128.68
ELETROSUL	2008	56.77	72.68	42.04	47.62	83.17
FURNAS	2008	100.00	96.11	51.94	58.84	3.96

* Normalized

As expected, the standard BCC model identified several (50% of samples) as belonging to the efficient frontier, meaning they have 100% efficiency. Applying the inverted frontier (composed normalized index) increased the power of the model in identifying the best practices.

Through Table 1, it is possible to confirm some characteristics of the set. The efficiency scores show considerable distribution (12.29% - 100.00%), the maximum value of the IRDF is 128.68%, with the mean being equal to 65.24%. The direct application of these results may not be feasible and may cause impacts on the market. It is necessary to think about the scenario to reduce the heterogeneity of the evaluation as well as the volatility of the results, thus minimizing the risk of applying them directly.

To complement the results above, apply, for example, the DP-DEA methodology with the objective of identifying the competitive set in three levels of the maximum IRDF: 110%, 90%, and 70% for any unit. Then, the next step consists of successively removing the efficient DMUs in relation to each frontier forming the outer layers, until a reference value is obtained.

The norm for removing the DMUs is dynamic. It identifies how many times a DMU is a benchmark for the other units and it removes the DMUs that are benchmarks for the rest of the units when they reach a particular value at each stage. In the first stage, the DMUs are removed which are benchmarks 20 times or more. The sequential process for removing the units to decrease the distance between the frontiers was executed with the aid of the standard DEA-BCC (input-output) and inverted (output-input) models. After seven stages, the model converged and reached a maximum IRDF less than 70%. Table 2 shows the procedure applied.

Table 2

Application methodology of the DP-DEA method

1st Stage	
Original set	40
Maximum IRDF	128.68 %
Average IRDF	65.24 %
Criteria for elimination	Benchmark 20 times or more

Normal frontier	COPEL 2007
Inverted frontier	COPEL 2008, ELETRONORTE 2008
2nd Stage	
Central set	37
Maximum IRDF	107.30 %
Average IRDF	44.86 %
Criteria for elimination	Benchmark 15 times or more
Normal frontier	CTEEP 2008, CEEE 2004
Inverted frontier	-
3rd Stage	
Central set	35
Maximum IRDF	97.18 %
Average IRDF	36.18 %
Criteria for elimination	Benchmark 15 times or more
Normal frontier	CTEEP 2007, CEEE 2005
Inverted frontier	-
4th Stage	
Central set	33
Maximum IRDF	95.75 %
Average IRDF	28.65 %
Criteria for elimination	Benchmark 10 times or more
Normal frontier	CHESF 2006, COPEL 2006
Inverted frontier	ELETRONORTE 2007
5th Stage	
Central set	30
Maximum IRDF	84.91 %
Average IRDF	21.44 %
Criteria for elimination	Benchmark 10 times or more
Normal frontier	CHESF 2004, COPEL 2005
Inverted frontier	ELETRONORTE 2006
6th Stage	
Central set	27
Maximum IRDF	77.31 %

Average IRDF	15.26 %
Criteria for elimination	Benchmark 10 times or more
Normal frontier	COPEL 2004
Inverted frontier	ELETRONORTE 2005
7th Stage	
Central set	25
Maximum IRDF	68.01 %
Average IRDF	11.45 %

After identifying the sets, the normalized composed efficiency scores for the suffer an alteration as is shown in Table 3. For companies that are removed during the process, the series is truncated and the last efficiency value is utilized. For companies that go on to the final stage, the efficiencies are recalculated according to the newly constructed frontier. For the year 2008, five went on to the last stage of the DP-DEA approach and had their original efficiency scores changed.

Table 3

Efficiency scores: original scores and scores after applying DP-DEA method

Public utility	Year	Normalized composed efficiency score (%)			
		Original	IRDF 110%	IRDF 90%	IRDF 70%
CEEE	2008	42.91	46.59	67.62	80.30
CEMIG	2008	54.38	48.73	65.32	76.54
CHESF	2008	82.80	65.44	75.61	83.31
COPEL	2008	56.64	56.64	56.64	56.64
CTEEP	2008	100.00	100.00	100.00	100
ELETRONORTE	2008	12.29	12.29	12.29	12.29
ELETROSUL	2008	47.62	43.63	67.81	80.13
FURNAS	2008	58.84	63.24	77.71	85.89
Average	2008	56.94	54.57	65.38	71.89

The results arrived at, after employing the DP-DEA method, are relevant. The aim is to assure identification of efficient costs with the restrictions imposed by the characteristics of the market, making its existence possible. If the market was completely competitive, the

powers involved would allocate resources efficiently and the IRDF would be small. Given market failures, there is no efficient allocation of resources without intervention. Hence, variation in the IRDF may point to the direction to be taken to achieve a balance which maximizes total benefits for both parts and that promotes the economic well-being of all.

Average efficiency with the application of the DEA method experienced variations during the stages of the DP-DEA methodology. In the case studied, the average value was at first reduced (IRDF 110%) then it increased. This change in the efficiency scores is proportional to the IRDF. Choosing it should take into consideration the environment and the negotiations between the agents and signify the aggregated effect of analyzing the competitive set. The results are analyzed by comparing the competitive set with the reality of the electric energy transmission public utility scenario in Brazil. Among the companies analyzed, just one has private capital with the rest being public companies. Public companies are subject to the limitations imposed by the relevant legislation. Moreover, they do not enjoy the same administrative flexibility as private companies do, see Arocena and Price (2002). This is in view of: having the obligation to promote public biddings to do business; being able to only hire people through public exams; and being subject to strict rules imposed by externally controlled supervisory bodies.

CTEEP was privatized in 2006, the year in which a series of changes in its administration were initiated. Among the modifications, a voluntary retirement plan was carried out which created an irregular variation in costs unaccounted for in Table 1, doubling the value spent on personnel, material and services (PMS) in that year. After the 2006 peak, operating costs were quickly and abruptly reduced, unlike how it previously was. This characteristic of CTEEP made it an outlier which according to Figueria (1998) is an observation that presents a great difference in relation to the others in terms of potential.

To verify the occurrence of an outlier using the Box-Plot graph technique, the values that are greater than $(Q3 + 3 * L)$ and less than $(Q1 - 3 * L)$ should be considered as suspect of belonging to the population (extremes), and the origin of the dispersion should be investigated. These points are called extremes. The result of the Box-Plot is shown in Table 4 where it is possible to see the PMS variation between the years 2005 and 2007 since CTEEP is an extreme in relation to the set.

Table 4

Outlier occurrence in the annual PMS variation *

Public utility	Variation (%) 2008-2007	Variation (%) 2007-2006	Variation (%) 2006-2005	Variation (%) 2005-2004
CEEE	1,76	12,40	7,56	15,70
CEMIG	3,54	-17,60	9,94	20,03
CHESF	6,39	33,58	-12,21	7,38
COPEL	-19,63	-17,45	-0,81	-12,29
CTEEP	-21,42	<u>-72,54</u>	<u>83,14</u>	0,15
ELETRONORTE	31,76	14,07	0,73	8,10
ELETROSUL	1,50	4,86	19,38	2,78
FURNAS	-3,35	12,33	11,27	25,38

* $(Q3+3*L) = 55,60$ e $(Q1-3*L) = -44,23$

The presence of CTEEP in the sample biases the results of the efficiency analysis for a given perspective. If this attribute is not dealt with, captive results may occur. But with an IRDF 110%, it is possible to keep it in the analysis in relation to the two perspectives. This means that CTEEP is part of the competitive set and may become a DMU to be studied by the others.

The public utility COPEL went through a process of deverticalization in 2008. It is possible that this fact has influenced its data and that it seems to be an example of extreme efficiency meaning that it has indicators that are interesting for both perspectives. It is possible that the result is in consequence of COPEL being situated in a sparsely occupied region between frontiers and as such it is considered under the two perspectives. Another important point is that according to Santos (2009), COPEL repositioned itself in the market by modifying its organizational structure after 2003. The result of this activity appears clearly during the process of applying DP-DEA where COPEL is removed from the normal perspective a majority of the time.

In the analysis made, ELETRONORTE (2008) for example, represents extreme convergence for the inverse viewpoint. This case may occur for a variety of reasons such as the positioning adopted by the company, the peculiar characteristics of its performance

or due to its concession are (DEA in two stages). The fact is that its presence in the set nears evaluation results for an opposite perspective. Its efficiency score is truncated in the initial value and there are no benefits with variation in the IRDF.

The rest of the are located in a region where their input and output relations enable a market to exist. This means there is no bias for either of the perspectives involved and the non-convergent objectives are conciliated into results that are admissible for both parts. In this case, DP-DEA analysis enables the regulator to have a mechanism of tolerance, an adaptation of the IRDF. This may be used if adjustments are necessary for a complete application of the original DEA results. With the development of review cycles, the IRDF limit may be adapted in order to urge the DMUs to reduce the distance between the frontiers. The results of the less efficient will tend towards a normal frontier since exclusion through the inverted perspective truncates their efficiency scores to low values, extinguishing any possibility for improvement through IRDF variation. The that are references will keep their best practices tendencies given that even though they may be excluded by the normal perspective, their truncated score will be high. The with intermediate efficiency scores will tend towards normal frontier scores with the aim of making profits from efficiency and avoiding exclusion by the inverted perspective.

6. Conclusion

Public utility regulation should: promote efficiency in the use of sector assets; remunerate prudent investments; promote real benefits for the consumer; and guarantee impartiality of the processes.

Applying the DEA method in identifying efficient operational costs may produce results that are unfeasible for direct application. Additionally, for the consumer, the scores obtained may not capture all of the points of efficiency so the context of the gains is not passed on. For the public utility, the efficiency reached may be immediately impractical. Moreover, this study contributed to the debate and to bettering the benchmarking methodology in regulated environments by proposing the application of the DP-DEA method to minimize evaluation risks.

The DP-DEA approach functions as a sensitivity analysis for the DEA method allowing the regulator to see tendencies or anomalies by evaluating the impacts associated with structural changes (IRDF variation) in the original model. The inverted frontier permits greater discriminatory ability, avoiding that a DMU be analyzed only from its more favorable results. The DP-DEA method obtained a variety of competitive sets according to the IRDF chosen. It also illustrated the advantage of aiding regulators in keeping a balance among the variety of interests involved considering market imperfections as well as defining intervals of efficiency value variation, positive or negative, without eliminating the incentive to reduce operational costs, thus ensuring the safety of the electric energy supply and the quality of services provided.

The competitive sets create possibilities for negotiation among the agents seeking final results that are feasible. The final efficiency scores, after applying the DP-DEA method, add credibility to the tariff review process by gradually adjusting the maximum limit of the IRDF.

Choosing to use the IRDF is the key point in this technique. It may indicate a standardized value, through sector specialists or it may utilize a range of options. The DP-DEA method was applied to a databank with up-to-date information on electric energy transmission in Brazil and the results presented are consistent with the scenario.

References

- ALI, A.I., 1993. Streamlined computation for Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 64, 61-67.
- Arocena, P., Waddams Price, C., 2002. Generating efficiency: Economic and environmental regulation of public and private electricity generators in Spain. *International Journal of Industrial Organization* 20, 41-69.
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30 (9), 1078-1092.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research* 2 (6), 429–444.

- Coelli, T.J., 1996. A guide to DEAP version 2.1: A Data Envelopment Analysis (computer) program. CEPA Working Papers. University of New England, Armidale, NSW 2351, Australia.
- Entani, T., Maeda, Y., Tanaka, H., 2002. Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, v. 136, 32-45.
- Figueira, M.M.C., 1998. Identificação de outliers. *MILLENIUM – Revista do Instituto Superior Politécnico de Viseu*, 12.
- Jamasb, T., Pollitt, M., 2000. Benchmarking and regulation of electricity transmission and distribution utilities: Lessons from international experience. *Utilities Policy* 9, 107-130.
- Lins, M.P.E., Novaes, L.F.L., Legey, L.F.L., 2005. Real estate appraisal: A double perspective Data Envelopment Analysis Approach. *Annals of Operations Research* 138, 79-96.
- MELLO, J.C.C.B.S, GOMES, E.G., MEZA, L.A., NETO, L.B., 2003. Índice de eficiência em fronteiras DEA nebulosas. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, 2 (14). UFF, Brasil.
- Mello, J.C.C.B.S., Meza, L.A., Gomes, E.G., Neto, L.B., 2005. Curso de Análise Envoltória de Dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, RS, Brasil.
- Meza, L.A., Mello, J.C.C.B.S, Gomes, E.G., Fernandes, A.J.S., 2007. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. *Investigação Operacional*, 27, 21-36.
- Mota, R.L., 2004. Comparing Brazil and USA electricity distribution performance: What was the impact of privatization? *CMI Working Papers in Economics CWPE0423*.
- Novaes, L.F.L., 2002. Envoltória sob dupla ótica aplicada na avaliação imobiliária em ambiente do sistema de informação geográfica. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Pedrosa, P., 2005. Desafios da Regulação do Setor Elétrico, modicidade tarifária e atração de investimentos. *Textos para discussão I - ANEEL*. Brasília, Brasil.
- Santos, R. B., 2009. Reposicionamento de empresas na busca da liderança devido à mudança do modelo do Setor Elétrico Brasileiro. XX SNPTEE, Pernambuco, Brasil.
- Simar, L. and Wilson, P.W., 2000. Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: The State of the Art. *Journal of Productivity Analysis*, 13: 49-78.

- Sousa, D.A.P., Lellis, M.M., Ferreira, R.D., 2007. Tributação, Encargos Setoriais e a Modicidade Tarifária. Trabalho de conclusão curso de Direito de Energia Elétrica. UCAM. Rio de Janeiro, Brasil.
- Sousa, M.C.S., Stosic, B.D., 2005. Technical efficiency of the Brazilian municipalities: Correcting Nonparametric frontier Measurements for outliers. *Jornal of Productivity Analysis*, v. 24, 155-179.
- Souza, J.C.F., 2006. Eficiência Bancária: uma abordagem não paramétrica aplicada ao Banco do Brasil. Tese de Doutorado em Economia, FACE, UnB, Brasília, Brasil.
- Yamada, Y., Matui, T., Sugiyama, M., 1994. New analysis of efficiency base on DEA. *Jornal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37 (2), 158-167.