

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE ECONOMIA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÁREAS DE DISTRIBUIÇÃO
DE ENERGIA ELÉCTRICA EM PORTUGAL
UTILIZANDO *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS***

Dissertação para a Obtenção de Grau de Mestre em Gestão Empresarial

JOAQUIM PAULO ROSA ROSADO

FARO

2008

JOAQUIM PAULO ROSA ROSADO

FACULDADE DE ECONOMIA

Orientadores:

Professora Doutora Carla Alexandra da Encarnação Filipe Amado

Professor Doutor Sérgio Pereira dos Santos

2008

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÁREAS DE DISTRIBUIÇÃO
DE ENERGIA ELÉCTRICA EM PORTUGAL
UTILIZANDO *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS***

Júri:

Presidente:

Professor Doutor Efigénio da Luz Rebelo

Vogais:

Professora Doutora Ana Maria Cunha Ribeiro dos Santos Ponces Camanho

Professor Doutor Carlos Joaquim Farias Cândido

Professora Doutora Carla Alexandra da Encarnação Filipe Amado

Professor Doutor Sérgio Pereira dos Santos

RESUMO

A utilização do *Data Envelopment Analysis* (DEA) no sector da distribuição de electricidade tem sido muito prolífico no número de artigos publicados em revistas de investigação. Para além de determinar a posição relativa de uma organização perante as congéneres, o DEA identifica possibilidades de melhoria das variáveis analisadas e as unidades que podem servir de modelo para essa melhoria. No entanto, embora numerosos estudos tenham sido documentados, a grande maioria reveste-se de um carácter sumativo. Os objectivos têm sido predominantemente descritivos e classificatórios. Este trabalho argumenta que uma avaliação de natureza formativa é mais eficaz do que um estudo sumativo na promoção de uma melhor compreensão das estruturas e processos de unidades de distribuição de electricidade e, conseqüentemente, é mais adequada para contribuir para melhorar o desempenho. Para ilustrar o uso do DEA numa avaliação formativa, e destacar algumas das dificuldades da aplicação do DEA na prática, este estudo compara a eficiência das unidades distribuidoras de electricidade em Portugal Continental de 2002 a 2006. Uma análise dinâmica utilizando Índices de Malmquist também é levada a efeito de forma a avaliar as mudanças na produtividade para esse período. Esta análise mostra que a aplicação do DEA em termos formativos encontra algumas dificuldades. Em particular, mostra que, embora a obtenção de índices de produtividade/eficiência usando o DEA seja relativamente simples, é comparativamente mais difícil desenvolver modelos que sejam economicamente válidos e que produzam resultados com aplicabilidade. Com base nos conhecimentos decorrentes da presente análise, o documento fornece algumas recomendações quanto ao sucesso da aplicação de DEA para melhorar o desempenho.

Palavras-chave: Avaliação de Desempenho, Eficiência, *Data Envelopment Analysis*, Empresas de Distribuição de Electricidade.

ABSTRACT

The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in the electricity distribution sector has been prolific in the number of papers published in research journals. However, while numerous studies have been documented, they have mostly been summative. Their aim has been predominantly descriptive and classificatory. This research argues that evaluations of a formative nature are more effective than summative studies in promoting a better understanding of the structures and processes of electricity distribution utilities and, consequently, are more appropriate to contribute to performance improvement. To illustrate the use of DEA for formative evaluation, and highlight some of the difficulties of using DEA in practice, this research compares the cost-efficiency of the Portuguese electricity distribution companies from 2002 to 2006. A dynamic analysis using Malmquist Indices is also conducted in order to evaluate the changes in productivity over this period. Our analysis shows that the application of DEA for formative purposes meets some difficulties. In particular it shows that whilst the modelling of productivity/efficiency scores using DEA is relatively straightforward, it is comparatively more difficult to develop models that are economically valid and that produce results with face validity. Based on the insights derived from this analysis the thesis provides some recommendations regarding the successful application of DEA for performance improvement.

Keywords: Performance Measurement, Efficiency, Data Envelopment Analysis, Electricity Distribution Utilities.

AGRADECIMENTOS

Não quero deixar de agradecer a todas as pessoas e entidades que contribuíram directa ou indirectamente para a realização deste trabalho:

- ◆ Aos Professores Doutores Carla Amado e Sérgio Santos da Faculdade de Economia da Universidade do Algarve, pelo apoio, paciência e excelente orientação prestados ao longo de todo o trabalho.
- ◆ À EDP e ao Sr. Eng. Carlos Lobato pela oportunidade que me deram.
- ◆ Ao Dr. Carlos Apolinário, Dr. Mário Lordelo, Dr. Luís Estanislau, Eng. Manuel Gonçalves, Eng. António Estrela, Dr. João Lisboa, Dr.^a Maria Luísa Pereira e Dr.^a Júlia Boucinha pela disponibilidade, dicas e informações prestadas.
- ◆ Aos colegas que mais próximos de mim colaboram, pela compreensão e simpatia manifestada.
- ◆ À minha família pela paciência e apoio.
- ◆ A todos aqueles que não tenham sido referidos anteriormente e que de alguma forma contribuíram para o sucesso deste estudo.

ÍNDICE

1	<i>Introdução</i>	10
2	<i>Revisão da Literatura</i>	13
2.1	Estudos de Eficiência de um País	14
2.2	Estudos de Comparação de Eficiência entre Países	16
2.3	Levantamento Bibliográfico	17
3	<i>Metodologia</i>	27
3.1	Conceitos Gerais – Data Envelopment Analysis	27
3.2	Inputs e Outputs	30
3.3	Orientação Input ou Output	32
3.4	Região Admissível e Fronteira de Eficiência	35
3.5	Tipos de Rendimentos de Escala	38
3.6	Índice de Produtividade de Malmquist	40
4	<i>Análise Empírica</i>	42
4.1	Enquadramento	42
4.2	Modelo Inicial (Modelo 1)	49
4.3	Análise Preliminar dos Resultados e Revisão do Modelo 1	55
4.4	Construção do Modelo 2 e Análise dos Resultados	57
4.5	Construção do Modelo 3 e Análise da Existência de Economias de Escala	63
4.6	Aplicação do Método Multicritério	75
5	<i>Discussão e Conclusões</i>	79
	<i>Referências Bibliográficas</i>	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Transformação de <i>inputs</i> em <i>outputs</i> pelas unidades de decisão	27
Figura 2 – O DEA e a Eficiência Técnica: Orientação <i>Input</i>	33
Figura 3 – O DEA e a Eficiência Técnica: Orientação <i>Output</i>	34
Figura 4 – Fronteira de Eficiência e Região Admissível	36
Figura 5 – Projecção das DMUs ineficientes para a fronteira de eficiência.....	37
Figura 6 – Internacionalização do Grupo EDP	42
Figura 7 – Estrutura do Grupo EDP.....	43
Figura 8 - Macroestrutura da EDP Distribuição, S.A.	47
Figura 9 – Áreas de Rede, número de clientes e consumo/cliente	48
Figura 10 – Multicritério – Escalas de valor das variáveis.....	76
Figura 11 – Multicritério – Exemplo ilustrativo	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I – Estudos de Avaliação da Eficiência de Empresas de Distribuição de Energia Eléctrica Usando o DEA.....	18
Tabela II – Rácios clientes/trabalhadores (2002-2006).....	49
Tabela III – Descritivo estatístico da distribuição de electricidade em Portugal (2006)	53
Tabela IV – Coeficientes de Correlação (2006).....	54
Tabela V – Modelo 1 - Eficiência e inputs/outputs virtuais para 2006.....	56
Tabela VI – Modelo 2 - Eficiência e inputs/outputs virtuais para 2006.....	62
Tabela VII – Modelo 3 - Eficiência e inputs/outputs virtuais para 2006.....	65
Tabela VIII – Modelo 3 – Referências para 2006.....	66
Tabela IX – Modelo 3 – Folgas em inputs e outputs em 2006.....	67
Tabela X – Modelo 3 - Resumo das eficiências totais.....	67
Tabela XI – Modelo 3 - Índices de Crescimento de Produtividade de Malmquist e Decomposições de 2002 a 2006.....	69
Tabela XII – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2002.....	70
Tabela XIII – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2003.....	71
Tabela XIV – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2004.....	71
Tabela XV – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2005.....	72
Tabela XVI – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2006.....	72

GLOSSÁRIO

DEA - *Data Envelopment Analysis*

DMU - *Decision Making Unit*

CRS - *Constant Returns to Scale*

VRS - *Variable Returns to Scale*

DRS – *Decreasing Returns to Scale*

IRS – *Increasing Returns to Scale*

1 INTRODUÇÃO

O sector da energia eléctrica mundial tem sofrido grandes reformas nas últimas duas décadas, numa tentativa de promover ganhos de eficiência e produtividade. Isto tem sido particularmente evidente na distribuição de electricidade. O fornecimento de electricidade em muitos países é considerado como um serviço público, devendo ser realizado com padrões adequados de qualidade e de uma forma eficiente e produtiva.

Enquanto a eficiência e a produtividade na produção de electricidade são, em grande medida, determinadas por factores tecnológicos, no sector da distribuição eléctrica são essencialmente determinadas pela gestão e utilização eficiente da força de trabalho (Kumbhakar and Hjalmarsson, 1998). Além disso, é importante ter em consideração que a distribuição retalhista de electricidade tem uma relação muito mais estreita com os clientes do que a produção de electricidade. Por conseguinte, uma adequada avaliação e gestão do desempenho das unidades de distribuição podem representar um papel importante no sentido de garantir uma utilização eficaz e eficiente dos seus recursos e contribuir, assim, para a prestação de serviços de qualidade aos clientes.

Um método para medir o desempenho de uma unidade de distribuição de electricidade é colocá-la em comparação com outras unidades que executam actividades similares. Uma análise deste género permite que cada unidade de distribuição seja confrontada com as melhores práticas observadas no sector, e depois, desenvolva planos de acção para melhorar o seu desempenho. Um bom exercício de *benchmarking* deve permitir que uma unidade de distribuição conheça como é que as outras unidades são capazes de fazer melhor. No entanto, o desafio é identificar as "melhores práticas", sendo estas

dependentes das perspectivas tomadas e das prioridades da unidade de distribuição sob avaliação. Portanto, aquilo que constitui as "melhores práticas" para uma organização pode não constituir as "melhores práticas" para outra.

O DEA (*Data Envelopment Analysis*) é uma técnica não paramétrica que usa a programação linear e que provou ser bastante eficaz na determinação das melhores práticas, tendo sido amplamente utilizada para análises comparativas. O DEA tem sido utilizado para avaliar a eficiência de diferentes tipos de unidades de tomada de decisão (*Decision Making Units – DMUs*), incluindo bancos, hospitais, universidades, tribunais de justiça e também empresas do sector eléctrico. No entanto, embora existam vários estudos de eficiência relativa de empresas de distribuição de electricidade, esses estudos são na sua maioria sumativos em vez de se revestirem de um carácter formativo. Eles revelam, principalmente, uma preocupação com a comparação de um grande número de organizações com vista à descrição e classificação. Além disso, a aplicação do DEA para a avaliação de unidades de distribuição eléctrica em Portugal tem sido muito limitada. Tanto quanto é do nosso conhecimento, não há estudos publicados sobre o uso do DEA para analisar a eficiência destas unidades de distribuição e explorar as suas mudanças de produtividade ao longo do tempo.

O presente documento defende que as avaliações com um carácter formativo, envolvendo os decisores, são mais eficazes do que os estudos de avaliação sumativa. Os estudos formativos permitem uma melhor compreensão das estruturas e processos das unidades de decisão e, conseqüentemente, são mais adequados para promover a melhoria do desempenho. Para ilustrar o uso do DEA numa avaliação formativa, este trabalho compara a eficiência das unidades de distribuição de electricidade em Portugal

Continental durante o período de 2002 a 2006, procurando-se fazer uma análise dinâmica da produtividade ao longo do tempo, passando pela recolha de informações de vários anos que permitissem verificar a evolução da eficiência organizacional. O índice Malmquist e os seus componentes, a mudança na fronteira tecnológica e a mudança em termos de eficiência, também são calculados para o período em análise.

Este estudo faz uma contribuição para a literatura do DEA em dois planos. Em primeiro lugar, fornece um dos mais exaustivos levantamentos bibliográficos relacionados com a utilização do DEA no sector da distribuição de electricidade. Em segundo lugar, discute o desenvolvimento de um modelo de DEA interactivo, de avaliação formativa, e destaca algumas das dificuldades da utilização do DEA na prática ao mesmo tempo que sugere algumas orientações quanto à aplicação desta técnica para fins formativos.

Tendo em vista a concretização dos objectivos a que se propõe, este estudo encontra-se estruturado em cinco capítulos principais. A seguir a este capítulo introdutório é apresentada uma revisão da literatura englobando estudos que utilizaram o DEA na análise da eficiência de empresas de distribuição de energia eléctrica. No terceiro capítulo discutem-se as principais características da técnica DEA. O quarto capítulo é dedicado à análise empírica realizada nesta investigação, discutindo os modelos desenvolvidos, os resultados obtidos, bem como o processo utilizado na concepção dos modelos e validação dos resultados. No último capítulo encerra-se este trabalho com a apresentação de algumas considerações finais, de uma síntese das principais conclusões e com algumas sugestões para futuras investigações.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O DEA tem sido usado por vários investigadores na análise da eficiência de empresas do sector eléctrico de diversos países. Os estudos são transversais a todo o sector, desde a área da produção (e.g. Färe et al., 1985b; Färe et al., 1986; Sueyoshi e Goto, 2001), com especial destaque para as centrais (e.g. Athanassopoulos et al., 1999; Park e Lesourd, 2000), passando pela área da distribuição onde se concentram mais estudos. Neste último caso, um dos primeiros trabalhos foi o de Färe et al. (1983), que utilizou o DEA para comparar a eficiência de empresas de distribuição de energia eléctrica nos Estados Unidos. Desde então o DEA tem sido utilizado com objectivos idênticos noutros países, como é o caso, por exemplo, da Espanha (Blázquez e Grifell-Tatjé, 2001), Suécia (Hjalmarsson e Veiderpass, 1992) e Austrália (Zhang e Bartels, 1998), entre outros. Um aspecto comum à maioria destes estudos é a falta de discussão quanto à utilidade dos resultados obtidos. De um modo geral, os estudos tendem a ser descritivos, focando apenas na apresentação dos resultados e dos rankings de eficiência.

À semelhança dos trabalhos previamente mencionados, este estudo focou também na função de distribuição, que consiste na transferência da electricidade para o cliente final (doméstico, industrial e comercial) através de uma rede de distribuição.

O interesse na realização de estudos sobre a eficiência relativa das empresas de distribuição de electricidade deve-se essencialmente às reestruturações do sector

eléctrico, particularmente à introdução da regulação, privatização e liberalização do mercado em diversos países.

2.1 ESTUDOS DE EFICIÊNCIA DE UM PAÍS

Tal como o trabalho pioneiro de Färe et al. (1983) que estudou a eficiência das empresas do sector eléctrico de *Illinois* através do DEA, também Charnes et al. (1989) e Pahwa et al. (2002) usaram esta técnica para avaliar a eficiência de empresas do sector eléctrico dos Estados Unidos. No entanto, estes dois últimos estudos desenvolveram modelos de DEA mais complexos do que os apresentados no trabalho de Färe et al. (1983). Diversos autores têm contribuído, também, para esta literatura. Por exemplo, Weyman-Jones, primeiro em 1991 e mais tarde em 1995, explorou o uso do DEA para comparar a eficiência de 12 companhias de distribuição de Inglaterra e do País de Gales antes e após as privatizações de 1990.

Seguiram-se outros estudos que recorreram ao DEA para avaliar a eficiência de distribuidores de electricidade no Reino Unido, entre eles o de Giannakis et al. (2005). Este estudo usou o DEA para examinar os efeitos na qualidade do serviço prestado devido à regulação do sector de distribuição de energia eléctrica, encontrando alguma evidência de *trade-offs* entre o custo e a qualidade.

Miliotis (1992) usou o DEA para avaliar a eficiência de 45 distritos de distribuição de electricidade da Corporação Pública de Electricidade Grega, embora adoptasse uma abordagem ligeiramente diferente da utilizada em estudos anteriores. Este autor usou diferentes modelos de DEA a fim de explorar os efeitos da geografia da região, do

tamanho e da dispersão da rede sobre os resultados, concluindo que grandes centros urbanos apresentavam eficiências mais elevadas do que as regiões menos populosas.

Chen (2002) e Yang e Lu (2006) também relatam nos seus estudos no sector da distribuição de electricidade na Tailândia conclusões semelhantes, em que a média da eficiência técnica dos distribuidores urbanos era consideravelmente mais elevada do que nos distribuidores rurais, devido à dispersão geográfica dos consumidores destes últimos. Considerando que a concentração urbana pode afectar a eficiência, sempre que possível, é recomendado que se realizem análises separadas de DEA para distribuidores urbanos e grupos de distribuidores rurais, ou incluir uma variável dentro do modelo de DEA que capture a dispersão geográfica dos clientes.

Hjalmarsson e Veiderpass (1992) examinaram o efeito do crescimento da produtividade nas empresas de distribuição de electricidade na Suécia, durante o período 1970 a 1986, também por recurso ao DEA, com a produtividade a ser medida pelo índice de Malmquist. O estudo encontrou evidência de acréscimos significativos na produtividade ao longo do tempo. Mostrou também que o crescimento da produtividade das áreas rurais excedeu o crescimento nas áreas urbanas e que as mudanças de produtividade eram independentes do tipo de gestão das empresas (pública ou privada).

O efeito da gestão (pública ou privada) na eficiência das empresas de distribuição não é, no entanto, consensual. Enquanto que Hjalmarsson e Veiderpass (1992) e Pollitt (1995) não encontraram diferenças significativas na eficiência entre as empresas de distribuição de electricidade públicas e privadas, Bagdadioglu et al. (1996), num estudo

do sector da distribuição de electricidade da Turquia, e Kumbahar e Hjalmarsson (1998), num estudo do sector eléctrico sueco, concluíram que as empresas privadas operavam mais eficientemente.

O DEA tem sido no entanto utilizado para avaliar a eficiência de empresas de distribuição em muitos outros países, incluindo: Noruega (Forsund et al., 1998; Agrell et al., 2005), Tailândia (Lo et al., 2001; Chien et al., 2003), Filipinas (Pacudan e Guzman, 2002), Brasil (Resende, 2002), Finlândia (Korhonen e Syrjänen, 2003), Chile (Sanhueza et al., 2004) e Colômbia (Pombo e Taborda, 2006).

2.2 ESTUDOS DE COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE PAÍSES

Além dos estudos anteriores, tiveram lugar nos últimos anos algumas comparações entre países. Por exemplo, Pollitt (1995) analisou comparativamente estudos de eficiência realizados na Austrália, Canadá, Dinamarca, Alemanha, Grécia, Hong Kong, Irlanda, Japão, Nova Zelândia, África do Sul, Tailândia, Taiwan, Reino Unido e Estados Unidos. Baseado nos resultados destes estudos concluiu que as empresas públicas tinham no mínimo um desempenho igual às empresas privadas.

Outros estudos que também oferecem interessantes discussões no que respeita ao uso do DEA para comparação de eficiência de empresas de diferentes países são os de Pardina et al. (1998), Jamasb e Pollitt (2006) e Hattori et al. (2005). O último estudo, por exemplo, examinou o desempenho relativo dos sistemas de distribuição de electricidade no Reino Unido e no Japão entre 1985 e 1998, concluindo que o ganho de produtividade no Reino Unido foi maior do que no Japão.

No entanto, é importante mencionar que é necessário tomar algum cuidado quando se realizam comparações entre países. Como mostraram Zhang e Bartels (1998), que examinaram o efeito do tamanho da amostra nas estimativas da eficiência pelo DEA, a eficiência técnica tende a diminuir à medida que o tamanho da amostra aumenta. Conseqüentemente, sempre que há diferenças significativas entre os tamanhos das amostras das empresas de distribuição pertencentes a cada país, recomenda-se que os índices de eficiência de todas as DMUs sejam obtidas a partir de uma fronteira única e posteriormente calculadas as respectivas médias para cada país.

2.3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Dada a ausência de um levantamento bibliográfico exaustivo sobre os trabalhos de comparação de eficiência de unidades de distribuição de energia eléctrica usando o DEA, optou-se na presente investigação por sistematizar esta informação na tabela I, que a seguir se apresenta.

No total foram identificados 35 estudos, publicados entre 1989 e 2006, e comparando empresas de distribuição de energia eléctrica na Europa, América, Ásia e Oceânia. Embora diferentes estudos tenham usado diferentes variáveis, indicadores de *inputs* tais como custos operacionais ou número de empregados, dimensão da rede e capacidade dos transformadores são comuns. Por outro lado, é possível verificar que indicadores de *outputs* tais como número de clientes, energia fornecida e área de serviço foram também utilizados com frequência.

Tabela I – Estudos de Avaliação da Eficiência de Empresas de Distribuição de Energia Eléctrica Usando o DEA

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Charnes et al. (1989)	Cooperativas do sector eléctrico regulado no Texas.	(1) Despesa operacionais; (2) Despesa de manutenção; (3) Despesas com os consumidores; (4) Despesas administrativas e gerais; (5) Milhas por consumidor; (6) Perdas nas linhas; (7) Horas médias de consumo por cliente; (8) Percentagem do tempo do sistema sem carga; (9) Planta total; (10) Salários; (11) Inventário.	(1) Margem líquida; (2) Vendas totais (kwh); (3) Rendimento total das vendas da electricidade.	
Weyman-Jones (1991)	12 Companhias públicas de distribuição de energia em Inglaterra e no País de Gales.	Modelo 1: (1) Valor total de recursos da área da companhia; (2) Horas de trabalho. Modelo 2: (1) Quantidade das principais distribuições em serviço (circuito-km); (2) Horas de trabalho.	(1) Vendas aos consumidores domésticos (kWh); (2) Vendas aos consumidores comerciais (kWh); (3) Vendas aos consumidores industriais (kWh).	
Hjalmarsson e Weiderpass (1992)	Entre 73 e 162 empresas de distribuição de electricidade na Suécia, dependendo do ano da análise.	(1) Horas trabalhadas (h) por todos os empregados; (2) Comprimento da rede de baixa tensão (km); (3) Comprimento da rede de alta tensão (km); (4) Capacidade total dos transformadores (kVA).	(1) Electricidade entregue em baixa tensão (MWh); (2) Electricidade entregue em alta tensão (MWh); (3) N.º de clientes em baixa tensão; (4) N.º de clientes em alta tensão.	

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Miliotis (1992)	45 Empresas de distribuição do sistema eléctrico público da Grécia. (As variáveis de entrada e saída foram combinadas em quatro modelos diferentes.)	(1) Comprimento da rede (km); (2) Capacidade dos transformadores (kVA); (3) Despesas gerais (dólares); (4) Trabalho administrativo (horas); (5) Trabalho técnico (horas).	(1) N.º de clientes servidos; (2) A energia fornecida (kWh); (3) Área servida (km ²).	
Pollitt (1995)	Austrália, Canadá, Dinamarca, Alemanha, Grécia, Hong Kong, Irlanda, Japão, Nova Zelândia, África do Sul, Tailândia, Formosa, Reino Unido e Estados Unidos da América (considerados separadamente).	(1) N.º de empregados; (2) Extensão de rede (km); (3) Capacidade dos transformadores (MVA).	(1) Número de clientes; (2) Vendas residenciais (MWh); (3) Vendas não-residenciais (MWh); (4) Área de serviço (km ²); (5) Pico máximo do consumo (MW).	
Weyman-Jones (1995)	Reino Unido	Modelo 1: (1) Número de empregados; (2) Extensão da rede (km); (3) Capacidade dos transformadores (MVA). Modelo 2: (1) Número de empregados.	Modelo 1: (1) Vendas residenciais (kWh); (2) Vendas comerciais (kWh); (3) Vendas industriais (kWh); (4) Pico máximo do consumo (kW). Modelo 2: (1) Número de clientes.	- Extensão da rede (km); - Capacidade dos transformadores (MVA); - Vendas totais (kWh); - Pico máximo (kW); - Densidade da população; - Vendas industriais em proporção às vendas totais.
Bagdadioglu e Weyman-Jones (1996)	70 Organizações do sector da distribuição de electricidade da Turquia.	(1) Horas de trabalho; (2) Capacidade dos transformadores; (3) Tamanho da rede; (4) Despesas gerais; (5) Perdas na rede.	(1) Número de clientes; (2) Energia fornecida; (3) Pico máximo; (4) Área de serviço.	

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Forsund e Kittelsen (1998)	157 Empresas de distribuição de electricidade da Noruega em 1983 e 170 em 1989. Os índices de produtividade são calculados para 150 empresas.	(1) Trabalho (h); (2) Perda de energia (MWh); (3) Capital (1000 NOK); (4) Materiais (1000 NOK).	(1) Índice da distância que expressa a densidade de clientes; (2) Número de clientes; (3) Energia total entregue (MWh)	
Kumbhakar e Hjalmarsson (1998)	Empresas de distribuição de electricidade da Suécia.	<p>Modelo 1</p> <p>(1) Tempo integral equivalente de empregados; (2) Capacidade total dos transformadores (kVA); (3) Comprimento da rede de alta tensão (km); (4) Comprimento da rede de baixa tensão (km).</p> <p>Modelo 2</p> <p>(1) Tempo integral equivalente de empregados; (2) Capacidade total dos transformadores (kVA).</p>	<p>Modelo 1</p> <p>(1) Electricidade entregue em baixa tensão (MWh); (2) Electricidade entregue em alta tensão (MWh).</p> <p>Modelo 2</p> <p>(1) Electricidade entregue em baixa tensão (MWh); (2) Electricidade entregue em alta tensão (MWh); (3) Comprimento da rede de alta tensão (km); (4) Comprimento da rede de baixa tensão (km); (5) Capacidade dos transformadores (kVA).</p>	
Pardina, Rossi e Ruzzier (1998)	14 empresas Brasileiras de distribuição da electricidade que são consideradas conjuntamente numa única análise com os sectores da distribuição de Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai e Venezuela.	(1) Número dos empregados; (2) Capacidade dos transformadores (kVA).	(1) N.º total de clientes.	- Vendas totais (MWh); - Estrutura do mercado (parte de clientes residenciais).

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Zhang e Bartels (1998)	32 Empresas de distribuição da Austrália, pertencentes às províncias de New South Wales e Queensland; 51 da Nova Zelândia; Uma amostra de 173 das 329 existentes na Suécia. (considerados separadamente)	(1) N° de empregados; (2) Comprimento total rede distribuição; (3) Capacidade total de transformação.	(1) N.º total clientes.	
Tilley e Weyman-Jones (1999)	12 Empresas do Reino Unido Dados de 1991 a 1998.	(1) OPEX; (2) Extensão da rede (km); (3) Capacidade dos transformadores (MVA).	(1) Energia fornecida; (2) Número de clientes; (3) Pico máximo do consumo.	
Lo, Chien e Lin (2001)	22 Distritos de distribuição de electricidade da Tailândia.	(1) Despesa do emprego; (2) Despesa geral; (3) Recursos totais; (4) Rede de distribuição; (5) Capacidade dos transformadores.	(1) Número dos clientes; (2) Energia fornecida.	
Chen (2002)	22 Distritos de distribuição de electricidade da Tailândia (As variáveis da entrada e de saída foram combinadas em 8 modelos diferentes.)	(1) Horas de trabalho; (2) Capacidade dos transformadores (MVA); (3) Tamanho da rede do sistema (km); (4) Despesas gerais.	(1) N.º de clientes de baixa tensão; (2) N.º de clientes de alta tensão; (3) Electricidade entregue em baixa tensão (MWh); (4) Electricidade entregue em alta tensão (MWh); (5) Pico máximo (MW); (6) Rendimento total pela electricidade fornecida.	

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Pacudan e Guzman (2002)	15 Empresas de distribuição da electricidade das Filipinas.	(1) Número de empregados; (2) Perdas da rede; (3) Comprimento da rede.	(1) Número de clientes; (2) Área de serviço; (3) Vendas da electricidade.	
Pahwa, Feng e Lubkerman (2002)	As 50 maiores empresas de distribuição de electricidade EUA.	(1) Perdas dos sistemas da distribuição; (2) Despesas de operação e de manutenção da distribuição; (3) Custo do Capital; (4) Transformadores da distribuição; (5) Linhas da distribuição.	(1) Carga de pico do sistema; (2) Vendas de energia; (3) Clientes.	
Resende (2002)	24 Empresas de distribuição de electricidade do Brasil.	(1) Número dos empregados; (2) Capacidade dos transformadores (MVA); (3) Extensão de rede (km).	Modelo 1 (1) Área da concessão (km ²); (2) Número de consumidores; (3) Vendas industriais de energia (MWh); (4) Vendas não-industriais de energia (MWh). Modelo 2 (1) Área da concessão (km ²); (2) Vendas industriais de energia (MWh); (3) Vendas não-industriais de energia (MWh).	
Chien, Lo e Lin (2003)	17 centros de serviço do distrito de distribuição de NAN-TOU da Taiwan Power Company.	(1) Número de funcionários (pessoa); (2) Valor do equipamento geral (NT\$ 10.000).	(1) Número de clientes; (2) Rede de distribuição (km); (3) Capacidade dos transformadores (KVA).	

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Edvardsen e Forsund (2003)	24 Empresas da Dinamarca; 25 da Finlândia; 15 da Holanda; 18 da Noruega; 42 da Suécia. Dados de 1997.	(1) TOTEX (<i>Total Expenditures</i>); (2) Perdas de energia (MWh); (3) Valor de recolocação do capital.	(1) N.º total de clientes; (2) Energia entregue (MWh). (3) Comprimento da rede (km).	
Jamasb e Pollitt (2003)	63 Empresas de distribuição e regionais de transporte de electricidade da Itália, Noruega, Reino Unido, Portugal, Espanha e da Holanda.	Modelo 1: (1) Custos totais. Modelo 2: (1) Custos operacionais; (2) Comprimento da rede; (3) A energia perdida na transmissão.	Modelo 1: (1) Electricidade entregue; (2) Número de clientes; (3) Comprimento da rede. Modelo 2: (1) Electricidade entregue; (2) Número de clientes.	
Korhonen e Syrjänen (2003)	102 Empresas de distribuição de electricidade da Finlândia. Dados de 1998.	(1) Custos operacionais.	(1) Energia distribuída; (2) Média de 3 anos do tempo total de interrupção.	- Comprimento total da rede (representa a dispersão dos clientes); - Número de clientes; - Profundidade média da neve no Inverno; - Área florestal (km ²).
Ajodhia, Petrov e Scarsi (2004)	13 Empresas do Reino Unido; 12 Empresas da Holanda; 13 Empresas da Malásia; 6 Empresas da Hungria. Dados de 2003.	Modelo 1 e 2: (1) TOTEX (<i>Total Expenditures</i>).	Modelo 1: (1) Energia entregue (kWh); (2) N.º total clientes. Modelo 2: (1) Energia entregue (kWh); (2) N.º total clientes; (3) Duração das interrupções (valor negativo em minutos).	

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Bjorndal, Endre and Mette Bjorndal (2004)	160 Empresas Norueguesas de distribuição. Dados de 1996 a 1999.	(1) Trabalho (custo médio anual trabalhador); (2) Produtos e Serviços (custos); (3) Perdas médias de Energia (MWh); (4) Capital; (5) <i>VOLL (value of lost load)</i> .	(1) Linhas de Baixa Tensão (km); (2) Linhas de Alta Tensão (km); (3) N.º de clientes; (4) Energia entregue (MWh); (5) <i>Expected VOLL (1000 NOK)</i> .	
Hirschhausen, Cullmann e Kappeler (working paper, 2004)	307 Empresas de distribuição da Alemanha. Dados de 2001. (As variáveis da entrada e de saída foram combinadas em 7 modelos diferentes.)	(1) Número dos empregados; (2) Extensão da rede (desagregada em alguns modelos em rede subterrânea e rede aérea); (3) Pico máximo de carga; (4) Perdas na rede.	(1) Energia vendida (GWh); (2) Número de clientes (desagregado em alguns modelos em clientes residenciais e industriais); (3) Índice de densidade inversa (área por cliente); (4) Retorno financeiro das vendas.	
Mota (2004)	72 Empresas Norte Americanas; 14 Empresas Brasileiras. Dados de 1994 e 2000. (As variáveis de entrada e saída foram combinadas em seis modelos diferentes.)	(1) OPEX (<i>Operating Expenditures</i> , em 4 modelos); (2) TOTEX (<i>Total Expenditures</i> , em 2 modelos).	(1) Consumos Totais (MWh); (2) N.º total clientes; (3) Comprimento da rede (km).	- Potência de Pico (MW); - Densidade clientes (número de consumidores por km de rede); - Rácio residencial (número de clientes residenciais sobre o número total de clientes).
Sanhueza, Rudnick e Lagunas (2004)	35 Empresas de distribuição de electricidade do Chile.	(1) Valor da distribuição real (\$/kW/ano); (2) Comprimento total de linhas (km); (3) Energia que não foi facturada; (4) Número de trabalhadores; (5) Salários.	(1) Energia total vendida; (2) Potência durante as horas de pico; (3) Número de clientes.	

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Agrell, Bogetoft e Tind (2005)	238 Empresas Escandinavas de distribuição. Dados de 1996 a 2000.	Modelo a longo prazo: (1) Despesas operacionais; (2) Custos com o Capital; (3) Perda na rede (MWh). Modelo a curto prazo: (1) Despesas operacionais + o custo suplementar sobre o preço de mercado da electricidade.	Modelo a longo prazo: (1) Carga de pico (MW); (2) N.º de conexões de alta tensão; (3) N.º de conexões de baixa tensão; (4) Energia entregue em alta tensão; (5) Energia entregue em baixa tensão. Modelo a curto prazo: (1) Carga de pico (MW); (2) N.º de conexões de alta tensão; (3) N.º de conexões de baixa tensão; (4) Energia entregue em alta tensão; (5) Energia entregue em baixa tensão.	- Clima da zona (categórico, z); - Comprimento normalizado da rede (km). - Comprimento da rede (km); - Perdas de energia na rede (MWh).
Farsi e Filippini (2005)	52 Empresas de distribuição de electricidade da Suíça. Dados de 1994.	(1) Capacidade dos transformadores; (2) Trabalho (custo médio anual dos trabalhadores); (3) Potência de entrada na rede de distribuição.	(1) Energia entregue (kWh).	
Giannakis, Jamasb e Pollitt (2005)	14 Operadores de rede de distribuição do Reino Unido. Dados de 1991/92 e 1998/99.	Modelo 1: (1) Despesas operacionais. Modelo 2: (1) Despesas totais. Modelo 3: (1) Número de interrupções; (2) Duração das interrupções. Modelo 4: (1) Despesas totais. (2) Número de interrupções; (3) Duração das interrupções.	Modelo 1, 2, 3 e 4: (1) Número total de clientes; (2) Energia entregue; (3) Comprimento total da rede.	
Hattori, Jamasb e Pollitt (2005)	21 Empresas de distribuição de electricidade (12 companhias regionais britânicas e 9 japonesas).	(1) Despesas totais.	(1) Número de clientes; (2) Energia entregue (MWh).	- Densidade de clientes e factor de carga.

Estudo	Nível de Análise (DMU's)	Inputs	Outputs	Var. ambientais
Cullmann e Hirschhausen (2006)	32 Empresas da Polónia. Dados de 1997 a 2002. (As variáveis de entrada e saída foram combinadas em dois modelos de eficiência técnica e 3 de eficiência alocativa.)	Modelo 1 e 2: (1) N° de empregados; (2) Comprimento da rede distribuição. Modelo 3, 4 e 5: (1) TOTEX (<i>Total Expenditures</i>); (2) Custos com o capital (TOTEX-Custos com empregados); (3) Custos com os empregados; (4) Comprimento da rede distribuição.	Modelo 1, 2, 3, 4 e 5: (1) N.º de clientes; (2) Energia vendida (GWh). (3) Índice de densidade inversa (área por cliente) – só no modelo 2.	
Karpa (2005)	31 Empresas de distribuição de electricidade da Polónia. Dados de 2001 a 2003 (3 anos).	(1) Número dos empregados; (2) Extensão da rede (km); (3) Capacidade dos transformadores (kVA).	(1) Energia entregue (kWh); (2) Número de clientes.	
Hirschhausen, Cullmann e Kappeler (2006)	380 Empresas de distribuição da Alemanha. (As variáveis de entrada e saída foram combinadas em cinco modelos diferentes.)	(1) Número dos empregados; (2) Extensão da rede (km); (3) Pico máximo de carga.	(1) Energia vendida; (2) Número de clientes; (3) Índice de densidade inversa (área por cliente).	
Pombo e Taborda (2006)	12 maiores empresas de distribuição de electricidade da Colômbia.	(1) Empregados da distribuição + comercialização; (2) Número de transformadores + subestações; (3) Comprimento da rede (km).	(1) Vendas totais (GWh); (2) Clientes totais.	- GDP regional <i>per capita</i> ; - Capacidade instalada de geração de electricidade ao nível nacional; - Área urbana servida.
Yang e Lu (2006)	24 Distritos de distribuição de electricidade da empresa Taiwan Power Company.	(1) Despesas com mão-de-obra; (2) Despesas operacionais; (3) Recursos totais; (4) Comprimento da rede de distribuição; (5) Capacidade dos transformadores.	(1) Número de clientes; (2) Quantidade da energia vendida; (3) Taxa de perda de energia.	

3 METODOLOGIA

3.1 CONCEITOS GERAIS – DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Como já foi referido o método central do estudo proposto é uma técnica de análise de dados não paramétrica, conhecida por *Data Envelopment Analysis* (DEA).

O DEA é uma técnica não paramétrica que usa a programação linear para medir a eficiência relativa de uma DMU construindo um índice global de eficiência que resulta da comparação da quantidade de recursos usados (*inputs*) com a quantidade de bens produzidos ou serviços prestados (*outputs*). Esta é uma das principais características que faz com que esta técnica seja particularmente apelativa para estudar a eficiência das empresas do sector eléctrico, uma vez que existem diversos parâmetros de diferentes unidades de medida que influenciam a eficiência.

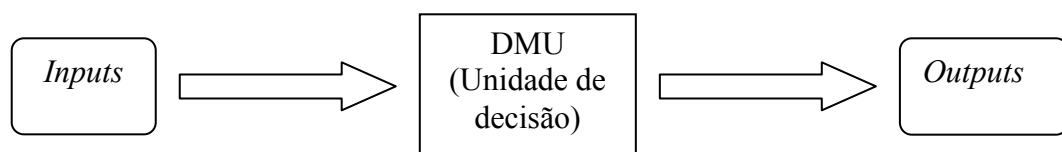


Figura 1 – Transformação de *inputs* em *outputs* pelas unidades de decisão

As raízes do desenvolvimento teórico do DEA são usualmente atribuídas a Farrell (1957), um economista de profissão. Este autor mostrou como as ineficiências de uma unidade podiam ser decompostas em duas componentes exaustivas e mutuamente exclusivas: a eficiência técnica e a eficiência de preço, posteriormente consagrada como *allocative efficiency*, como referido por Thanassoulis (2001). Esta separação entre dois níveis de eficiência constituiu um avanço face aos conceitos existentes e que eram utilizadas na época: produtividade do trabalho e índices de eficiência. Farrell utilizou dados do sector agrícola nos EUA para demonstrar as suas formulações. A metodologia foi mais tarde desenvolvida por Charnes *et al.* (1978) tendo sido, no artigo intitulado de *Measuring Efficiency of Decision Making Units*, que o termo DEA surge pela primeira vez. O modelo então desenvolvido ficou conhecido como Modelo CCR, em homenagem às iniciais dos seus autores. Este modelo de avaliação de desempenho surgiu para o estudo de um programa público de educação, onde era impossível aplicar metodologias tradicionais, pois estas não permitiam a consideração simultânea de múltiplos *inputs* e *outputs* e exigiam a valorização monetária dos parâmetros.

As DMUs podem ser empresas ou partes delas, entidades com ou sem fins lucrativos. Como exemplo de unidades de análise utilizadas pelos investigadores na aplicação do DEA é possível encontrar departamentos de empresas, agências bancárias, agências de seguros, organismos públicos, pessoas, entre outros. Essa análise da eficiência relativa das DMUs é efectuada através de um índice de eficiência, que mais não é que um rácio entre a soma ponderada dos *outputs* e a soma ponderada dos *inputs*, sendo os pesos de cada *input* e *output* as variáveis do próprio modelo, que procura maximizar o índice de eficiência relativa. Assim, a eficiência relativa de uma DMU_o, quando comparada com

n DMUs, que utilizam os *inputs* X_i , com $i = 1, \dots, m$, para produzir os *outputs* Y_r com $r=1, \dots, s$ é dada por:

$$\text{Max } P_o = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{ro}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{io}}$$

$$\text{sujeito à condição } \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} \leq 1, \forall j, \text{ com } j = 1, \dots, n.$$

$$\text{e } U_r, V_i > 0, \forall r, \text{ com } r = 1, \dots, s;$$

$$\forall i, \text{ com } i = 1, \dots, m;$$

Com:

P_o = Eficiência da DMU_o;

Y_{rj} = *Output r* da DMU **j**;

X_{ij} = *Input i* da DMU **j**;

U_r = Peso do output Y_r para determinar a eficiência relativa da DMU;

V_i = Peso do input X_i para determinar a eficiência relativa da DMU;

s = número de *outputs*;

m = número de *inputs*;

n = número de DMUs.

O objectivo da função, modelo CRS, *input-oriented* (Charnes *et al.*, 1978) é determinar um conjunto de variáveis U_r e V_i positivas que maximizem a eficiência relativa de cada DMU. Estes parâmetros são os pesos implícitos, obrigatoriamente positivos, para cada um dos *inputs* e *outputs*, o que limita, juntamente com o conjunto de restrições do problema, a eficiência de cada DMU ao mínimo de 0 e ao máximo de 1.

Desta forma, para cada DMU será maximizada uma função de objectivo específico, mantendo-se o conjunto de restrições constantes, uma vez que reflectem as n DMUs em análise. Assim, n programas são resolvidos separadamente para determinar a eficiência das n DMUs.

Para cada organização classificada como ineficiente o DEA identifica um grupo de organizações eficientes de referência, que podem funcionar como modelos para aprendizagem. Para cada organização ineficiente, o DEA identifica também metas para a redução dos recursos a usar e/ou para o acréscimo dos *outputs* a produzir de modo a que a organização se torne eficiente.

3.2 INPUTS E OUTPUTS

As variáveis a utilizar no DEA devem ser cuidadosamente seleccionadas, de modo a reflectir a estratégia e os objectivos da empresa. Esta escolha é fundamental para o sucesso da aplicação desta técnica, daí a necessidade de envolver alguns colaboradores da própria empresa. Os *inputs* devem reflectir os vários recursos utilizados (por exemplo: custos com os trabalhadores, número de trabalhadores, custos operacionais, capacidade de distribuição de energia, entre outros). Os *outputs* devem representar os resultados da actividade (como é o caso do número de clientes, quantidade de energia consumida, volume de vendas de energia, número de horas de fornecimento energético sem interrupções, satisfação do cliente, satisfação dos colaboradores, etc.).

O DEA é uma metodologia flexível, na medida em que permite que os *inputs* e os *outputs* considerados tenham diferentes unidades de medida e permite distinguir entre variáveis que se encontram sob controlo da gestão (discricionárias) ou que, pelo contrário, não são controláveis pela unidade (não discricionárias ou ambientais). Na literatura sobre o DEA o tratamento matemático a dar a estas variáveis não discricionárias vai desde a simples alteração das restrições do problema de programação linear (Banker e Morey, 1986) até à utilização de modelos multi-etapas (Muniz, 2002). Num modelo de DEA os *inputs* não controláveis não são minimizáveis, tal como os *outputs* não controláveis não são maximizáveis. São incluídos nos modelos apenas para assegurar uma comparação justa das tecnologias.

Thanassoulis (2001) oferece uma discussão mais aprofundada sobre a selecção dos indicadores de performance e a definição dos *inputs*, *outputs* e variáveis ambientais para os modelos de DEA.

Por questões de abrangência e poder explicativo, o ideal seria incluir no modelo de DEA todas as variáveis que influenciem a eficiência das unidades a avaliar e assegurar, simultaneamente, que não existem sobreposições nas variáveis consideradas. No entanto, o número de *inputs* e *outputs* a incluir no modelo depende também do número de DMUs que se pretendam comparar. Não obstante não existir uma regra quanto ao número ideal de *inputs* e *outputs* a incluir num modelo de DEA, foram já desenvolvidas heurísticas que podem auxiliar o analista na especificação dos modelos. Avkiran (1999) e Cooper *et al.* (2001) referem a necessidade de ter um conjunto de DMUs maior que o produto do número de *inputs* pelo número de *outputs* ou um número de DMUs pelo menos três vezes superior à soma do número de *inputs* e

outputs. Segundo Cooper *et al.* (2001) estas duas regras permitem controlar a questão dos graus de liberdade na resolução do problema de eficiência relativa definido no DEA. O número de graus de liberdade aumenta com o número de DMUs e diminui com o número de *inputs* e *outputs*. Assim sendo, deverá ser cumprido o seguinte requisito:

$$n \geq \max(m * s, 3(m + s))$$

3.3 ORIENTAÇÃO INPUT OU OUTPUT

Os modelos de DEA podem ser orientados para os *inputs* (*input-oriented*), para os *outputs* (*output-oriented*) ou não terem uma orientação definida (*non-oriented*). Usando o DEA, uma organização é classificada como eficiente se conseguir atingir o máximo possível de *outputs* com uma determinada quantidade de recursos (*output-oriented*) ou se conseguir gastar o mínimo de *inputs*, produzindo um certo nível de *outputs* (*input-oriented*). A escolha entre usar um modelo de orientação *input* ou um modelo de orientação *output* deve primeiramente reflectir o controlo que o responsável pelas decisões tem sobre cada um dos objectivos. Numa fase de recessão e de redução de custos na organização terá mais sentido a orientação *input*, enquanto numa etapa de crescimento a orientação *output* será a indicada.

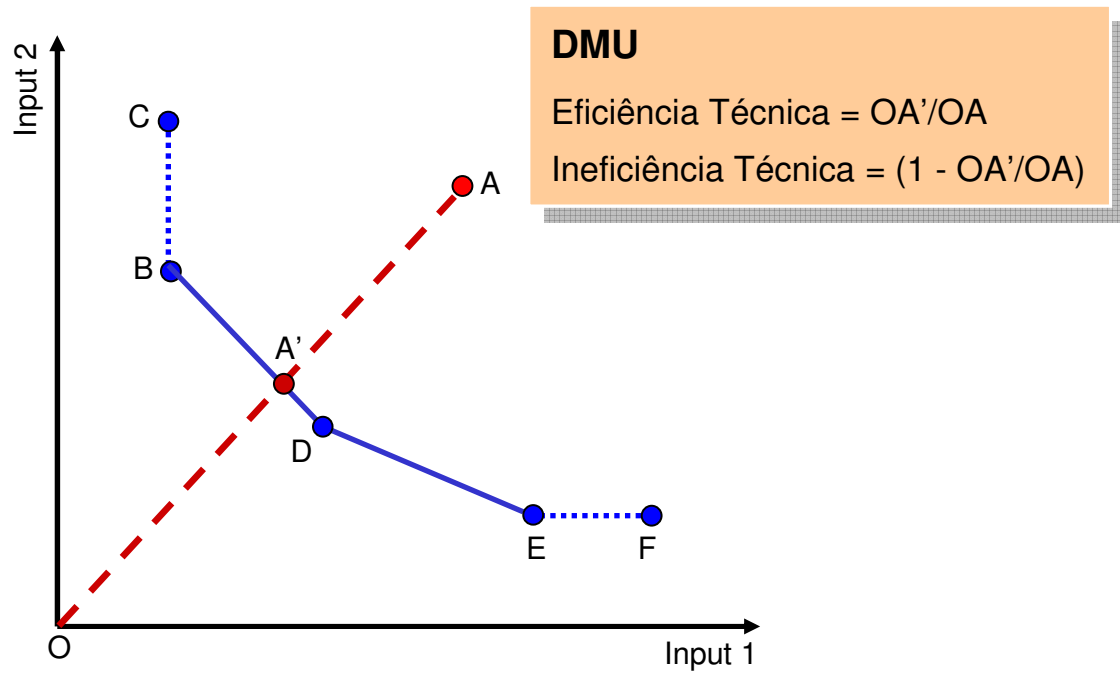


Figura 2 – O DEA e a Eficiência Técnica: Orientação *Input*

Um modelo de orientação *input*, tal como se pode verificar pela figura 2, permite determinar a percentagem pela qual todos os *inputs* discricionários de uma *DMU* não eficiente terão de ser reduzidos para que esta se torne eficiente (redução radial). Por outro lado, tal como é exemplificado pela figura 3, um modelo de orientação *output* permite determinar a percentagem pela qual todos os *outputs* discricionários de uma *DMU* não eficiente terão de ser aumentados para que esta se torne eficiente (acréscimo radial).

Para além disso, os modelos de DEA permitem também identificar outras reduções ou acréscimos (folgas) que tenham de ocorrer nalguns *inputs* e *outputs* (alterações não radiais) de forma a tornar determinadas *DMUs* não eficientes em eficientes.

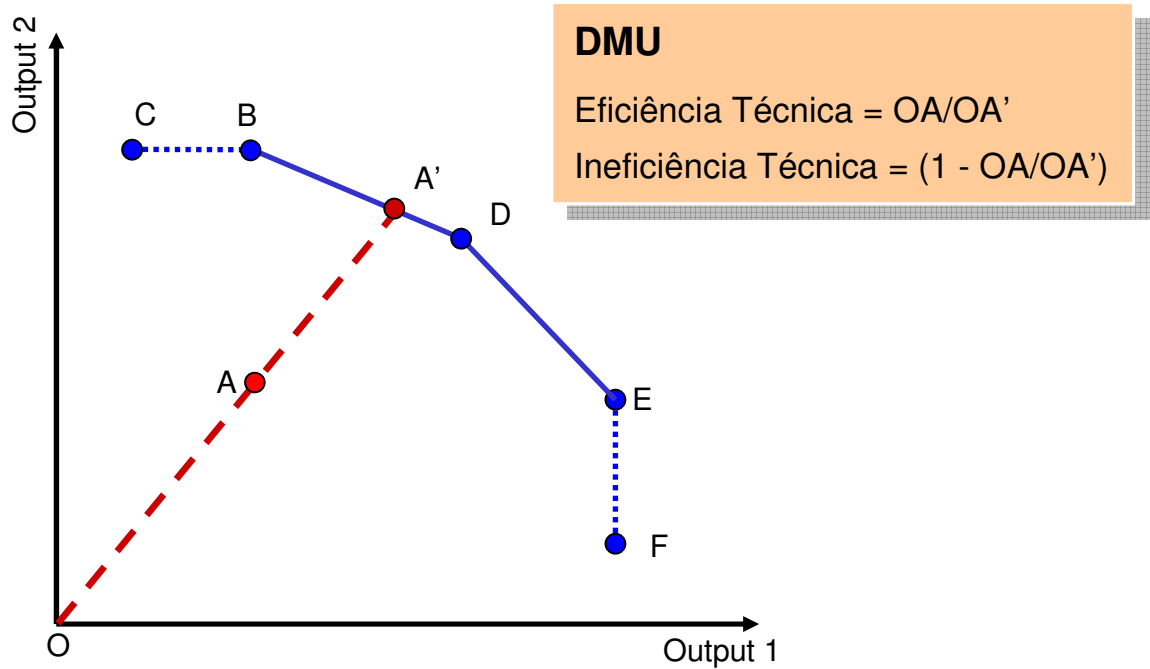


Figura 3 – O DEA e a Eficiência Técnica: Orientação *Output*

A técnica de DEA permite o cálculo de eficiência técnica e alocativa, e permite a decomposição por escala, congestão, e eficiência técnica pura (Fare et al., 1985a). Uma determinada DMU é tecnicamente eficiente se não houver nenhuma evidência de que é possível reduzir algum dos *inputs* produzindo o mesmo nível de *outputs*. É alocativamente eficiente se usar a combinação ótima de *inputs*, conhecidos os preços dos mesmos, de forma a minimizar os custos.

3.4 REGIÃO ADMISSÍVEL E FRONTEIRA DE EFICIÊNCIA

Num problema de DEA, a região admissível é definida pelo conjunto que contém todas as correspondências *inputs-outputs* observadas nas DMUs em análise. Por sua vez, a fronteira de eficiência constitui o limite da região admissível e é composta pelas DMUs consideradas eficientes pelo modelo de DEA. Para construir a fronteira de eficiência são consideradas não só as DMUs observadas e para as quais se dispõe de dados, mas também todas as outras possibilidades obtidas por combinação linear convexa das DMUs eficientes.

Na figura 4 é possível verificar que a região admissível está limitada por GBCDEF, mas a fronteira eficiente é apenas composta por BCDE. Os pontos limites da região admissível à direita do ponto E e abaixo do ponto B (segmentos que se encontram a tracejado), não fazem parte da fronteira eficiente. Por exemplo, o ponto F é dominado pelo ponto E, porque é possível reduzir o input mantendo o nível de output. Da mesma forma, o ponto G é dominado pelo ponto B, porque é possível aumentar o nível de output mantendo o input. Ou seja, apesar de se encontrarem no limite da região admissível, estas DMUs apresentam folgas.

Pode-se também verificar pela análise da figura 4 que a fronteira de eficiência é formada pelas DMUs cujo índice de eficiência é 1 e cujas folgas são nulas. É de salientar que a fronteira é determinada pelos próprios dados e não por uma percepção empírica do analista.

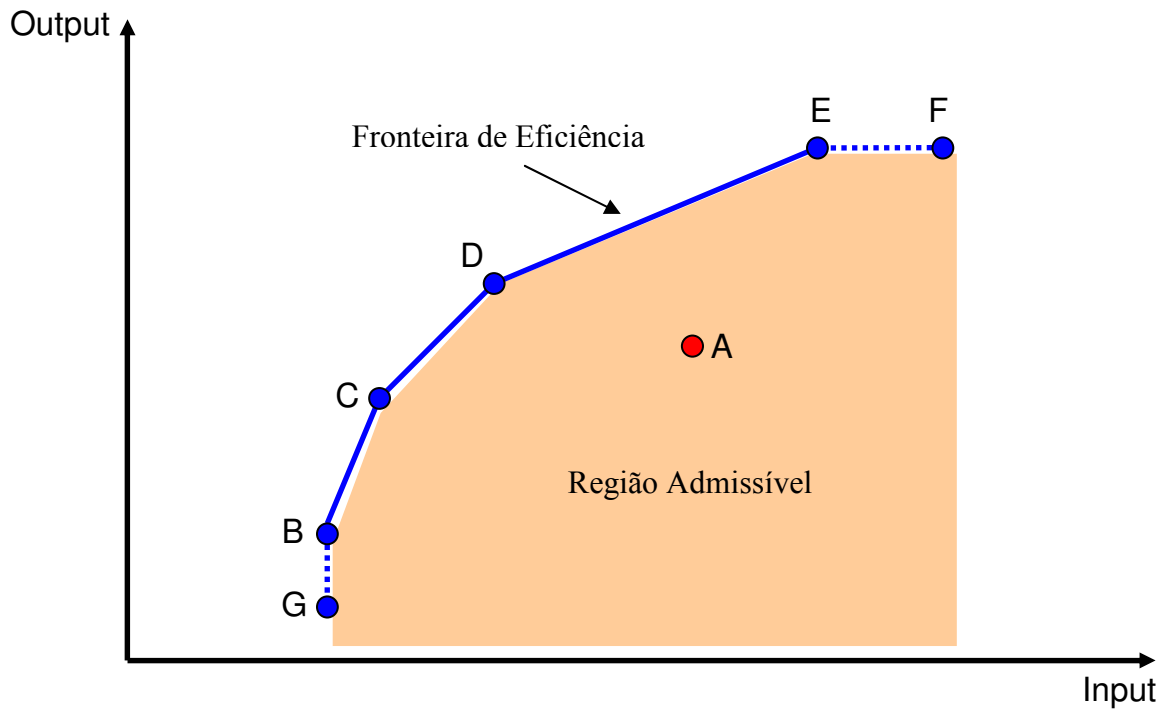


Figura 4 – Fronteira de Eficiência e Região Admissível

As DMUs que não se encontrem na fronteira de eficiência podem ser projectadas para esta fronteira e assim obter uma melhor relação *output/input*.

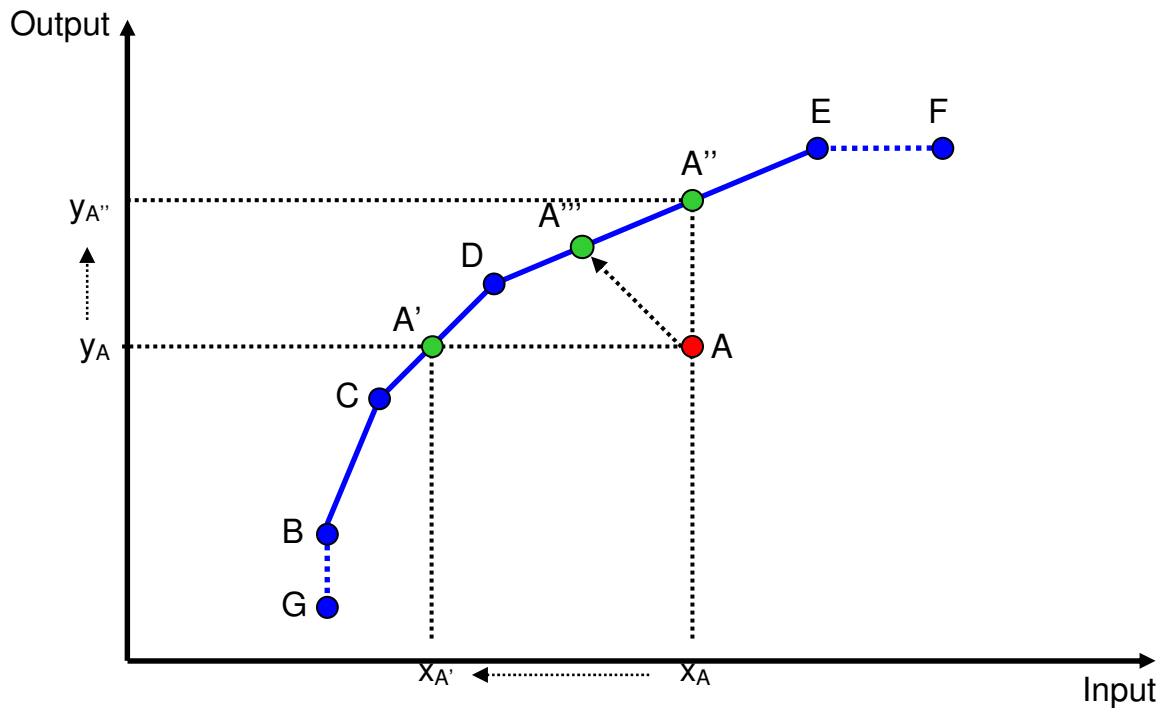


Figura 5 – Projecção das DMUs ineficientes para a fronteira de eficiência

No caso da DMU A (figura 5), considerando o nível de *output* y_A é possível reduzir o *input* x_A para $x_{A'}$ (orientação *input*), ou seja, passar da actual posição para o ponto A' na fronteira de eficiência. Se o modelo de DEA tiver uma orientação *output*, para o nível de *input* x_A é possível obter um nível de *output* $y_{A''}$ em vez de y_A (expansão do *output*), passando do ponto A para o ponto A''. Existe ainda uma terceira hipótese que é uma combinação dos casos anteriores, passando de A para A''' (modelo não-orientado).

É importante mencionar, no entanto, que quando se incluem variáveis não discricionárias na análise, a distância à fronteira empírica da melhor prática será calculada somente na direcção das variáveis discricionárias, enquanto que as não discricionárias são consideradas fixas. Esta diferenciação permite que a aferição da

eficiência e respectiva análise não se centre em condicionalismos da envolvente, não controláveis pelas DMUs, como refere Avkiran (1999).

3.5 TIPOS DE RENDIMENTOS DE ESCALA

Adicionalmente um modelo DEA pode assumir a existência de proporcionalidade entre os *inputs* e os *outputs*: rendimentos de escala constantes (CRS). Um modelo CRS assume que alterações no valor dos *inputs* conduzem a alterações proporcionais no valor dos *outputs*. Caso este pressuposto não seja válido, deverá usar-se um modelo que assuma rendimentos de escala variáveis (VRS). Num modelo que assume VRS as DMUs são apenas avaliadas em termos da sua eficiência técnica pura com base na sua escala actual. Por comparação dos índices de eficiência obtidos num modelo que assume CRS com os obtidos num modelo que assume VRS, é possível ainda determinar quais as DMUs que trabalham com uma escala óptima (CRS), que poderiam beneficiar de um aumento de escala (IRS) ou que poderiam beneficiar de uma redução de escala (DRS).

A natureza da ineficiência dos retornos de escala pode ser determinada impondo ao DEA o pressuposto de rendimentos de escala não crescentes (NIRS). Se para uma determinada DMU o resultado da aplicação do pressuposto de eficiência NIRS for igual ao resultado do pressuposto VRS, então a DMU apresenta DRS. Se forem diferentes, existe IRS para a DMU em causa.

Banker et al. (1984) mostrou que no modelo CCR, o qual pressupõe rendimentos de escala constantes, a eficiência técnica pode ser decomposta na multiplicação de uma

medida de eficiência técnica pura, obtida através do modelo BCC que assume rendimentos de escala variáveis, por uma medida da eficiência de escala. Ou seja:

$$TE_o(x, y)^{CRS} = TE_o(x, y)^{VRS} \times SE_o(x, y)$$

A este respeito, a eficiência de escala para DMU_o (SE_o), é obtida usando a seguinte fórmula:

$$SE_o(x, y) = TE_o(x, y)^{CRS} / TE_o(x, y)^{VRS}, \text{ com } SE_o(x, y) \leq 1.$$

A eficiência da escala de uma DMU é igual a 1 quando a DMU é CRS eficiente. Se a DMU for VRS eficiente, mas não CRS eficiente, então a sua eficiência de escala é menor que 1, indicando que a DMU não está a operar à escala mais produtiva. Uma revisão detalhada da técnica de DEA pode ser encontrada em Boussofiane *et al.* (1991), Cooper *et al.* (2000) e Cooper *et al.* (2004).

O DEA também pode ser usado para avaliar mudanças na produtividade ao longo do tempo com o cálculo dos índices de produtividade de Malmquist (MPI) e dos seus componentes. Passamos agora a discutir a forma de cálculo destes índices.

3.6 ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE DE MALMQUIST

Malmquist (1953) desenvolveu inicialmente um índice de quantidade para análise de consumo, como razão de funções de distância. Mais tarde, Caves *et al.* (1982) introduziram o conceito de produtividade na literatura do DEA. Färe *et al.* (1989) mostraram, por sua vez, como o Índice de Produtividade de Malmquist (MPI) podia ser calculado usando um método de programação linear não paramétrico. Färe *et al.* (1998) desenvolveram os conceitos teóricos e aplicações empíricas do MPI.

O MPI é “um índice que representa o Factor Total de Produtividade (TFP) de uma DMU, reflectindo o progresso ou retrocesso da eficiência ao longo do tempo em relação à fronteira tecnológica” (Tone, 2004: 203). Este índice é obtido através da multiplicação de dois índices: o *catch-up effect index* e o *frontier shift index*. O *catch-up effect index* reflecte a mudança na taxa da eficiência de uma determinada DMU de um período de tempo para outro, enquanto que o *frontier shift index* reflecte a alteração da fronteira de eficiência de um período de tempo para outro. A técnica do DEA pode ser usada para calcular ambos os índices. Vejamos a seguir como obter estas medidas.

Considerando que $\delta^{t_2}((x_o, y_o)^{t_1})$, com $t_1 = 1,2$ e $t_2 = 1,2$ representa o nível da eficiência da DMU_o calculado com base em dados do período de tempo t_1 , com referência à fronteira tecnológica do período t_2 , sob o pressuposto CRS.

Segundo Tone (2004), o *catch-up effect index* (C) e o *frontier shift index* (F) podem ser calculados usando as seguintes expressões:

$$C = \frac{\delta^2((x_o, y_o)^2)}{\delta^1((x_o, y_o)^1)},$$

$$F = \sqrt{\frac{\delta^1((x_o, y_o)^1)}{\delta^2((x_o, y_o)^1)} \times \frac{\delta^1((x_o, y_o)^2)}{\delta^2((x_o, y_o)^2)}}.$$

Multiplicando ambos os efeitos, obtém-se a expressão para o MPI:

$$MPI = \sqrt{\frac{\delta^1((x_o, y_o)^2)}{\delta^1((x_o, y_o)^1)} \times \frac{\delta^2((x_o, y_o)^2)}{\delta^2((x_o, y_o)^1)}}.$$

Se o MPI for igual a um, indica que houve um *status quo* no factor total de produtividade entre os dois períodos analisados. Alternativamente, se o MPI for menor ou maior do que um, indica que houve um retrocesso ou progresso, respectivamente, no factor total de produtividade. Para uma discussão mais detalhada sobre os Índices de Produtividade de Malmquist, recomenda-se a consulta do trabalho de Färe et al. (1998).

No capítulo seguinte apresenta-se a análise empírica onde se discute a aplicação do DEA e dos Índices de Produtividade de Malmquist para comparar a eficiência e a produtividade de todas as áreas de distribuição de energia eléctrica a operar em Portugal Continental de 2002 a 2006.

4 ANÁLISE EMPÍRICA

4.1 ENQUADRAMENTO

O Grupo EDP, na figura 7, é um dos grandes operadores europeus do sector eléctrico e afirma-se como uma entidade de referência no panorama empresarial português.

As actividades do Grupo EDP estão centradas nas áreas de produção e distribuição de energia eléctrica, telecomunicações e tecnologias de informação, mas abrangem também outras áreas complementares e relacionadas, como as da água, gás, engenharia, ensaios laboratoriais, formação profissional ou gestão do património imobiliário.

É o único grupo empresarial do sector eléctrico da Península Ibérica com actividades de produção e distribuição nos dois países, Portugal e Espanha - onde detém o controlo do 4º maior operador eléctrico espanhol, a Hidrocantábrico -, e está presente nos sectores eléctricos da América Latina – com grande representação no Brasil –, de África e de Macau, nos negócios da Produção, Distribuição e da Comercialização (figura 6).

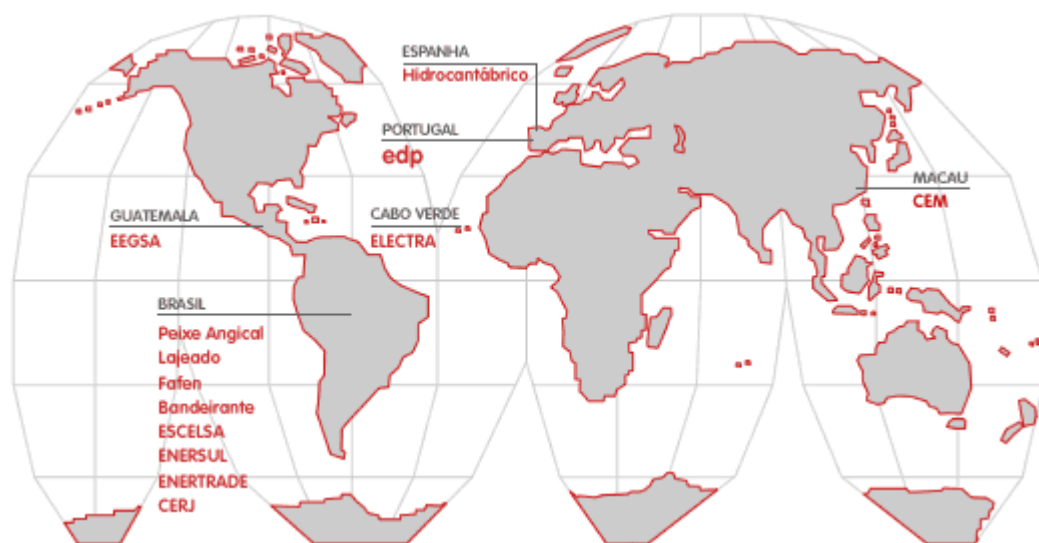


Figura 6 – Internacionalização do Grupo EDP

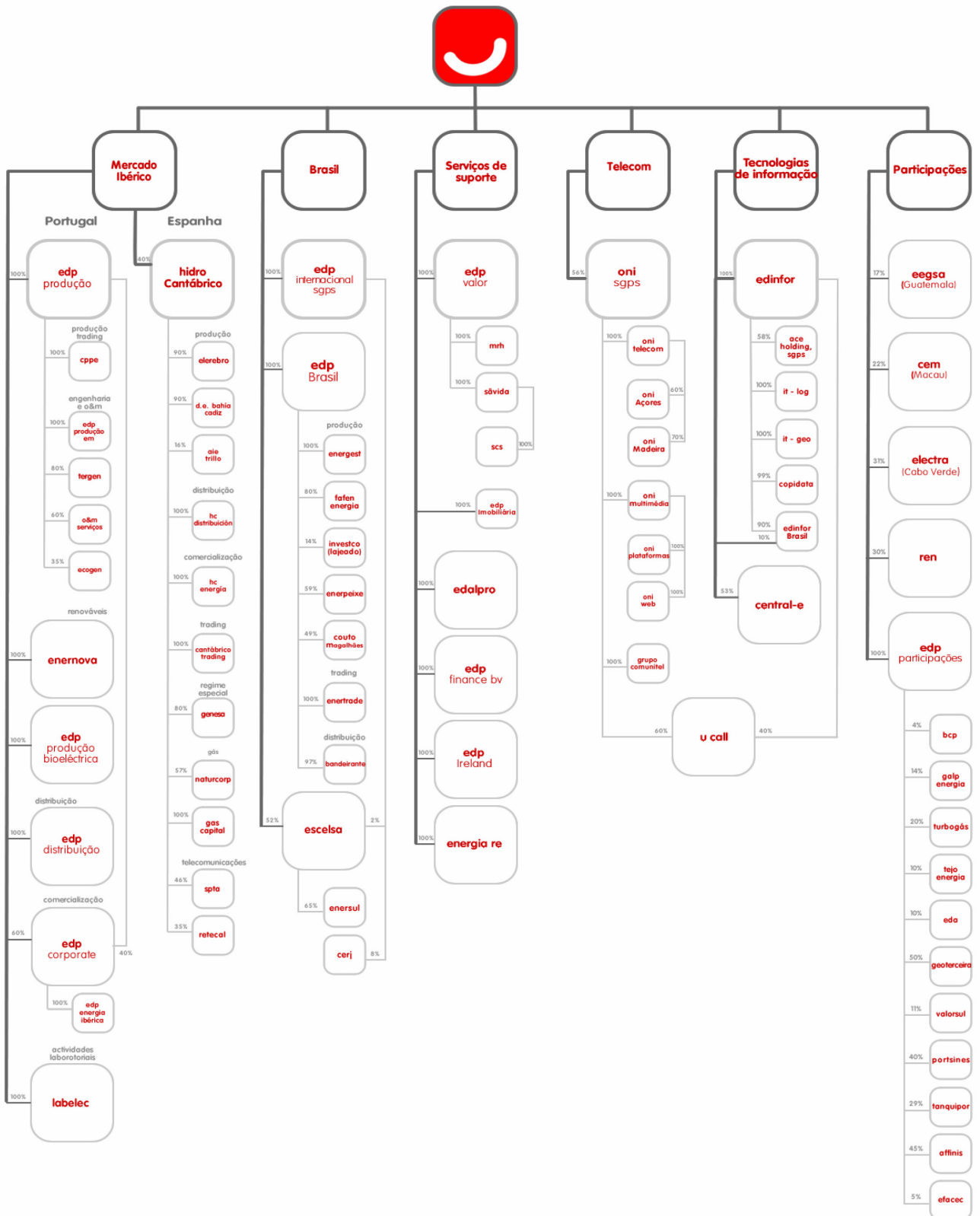


Figura 7 – Estrutura do Grupo EDP

A EDP tem consolidado a sua posição no sector eléctrico através do desenvolvimento de respostas adequadas aos desafios que a regulação e a liberalização do mercado interno da energia têm vindo a despontar.

Na área da distribuição vinculada de electricidade, o Grupo EDP procedeu a uma profunda remodelação da estrutura empresarial e organizativa, tendo em vista uma maior eficiência na utilização dos recursos. Foi neste quadro que se procedeu, logo em princípios de 2000, à fusão das quatro empresas distribuidoras de electricidade do Grupo (EN, CENEL, LTE, SLE), as quais deram origem a uma entidade empresarial única, a EDIS, titular da distribuição vinculada em alta e média tensão e também concessionária da distribuição em baixa tensão.

Esta reorganização teve por objectivos principais aumentar de forma significativa a eficiência da gestão do negócio da Distribuição, a eficácia comercial no contexto da liberalização do sector e garantir a liderança sustentada, de forma rentável, na qualidade de serviço prestado aos seus clientes.

O Grupo EDP prossegue a consolidação de investimentos já feitos, mas não cessa a procura de novas oportunidades de crescimento. O que começou por ser uma empresa de electricidade, cresceu e estendeu o seu ângulo de acção a muitos outros sectores e, hoje em dia, a EDP oferece serviços em variadíssimas áreas.

A EDIS (figura 8) é uma empresa do Grupo EDP que se dedica à distribuição e comercialização de energia eléctrica em Portugal Continental. Possui um Conselho de Administração e está dividida em cinco áreas:

- Área de Apoio ao Conselho de Administração, onde se encontra o Gabinete de Planeamento e Controlo, o Gabinete de Comunicação e Imagem, o Gabinete Jurídico e o Gabinete de Organização e Sistemas.

- Área de Suporte, que inclui a Direcção de Recursos Humanos.

- Área Comercial, onde se insere o Gabinete de Compra de Energia, a Direcção de Gestão e Sistemas Comerciais, a Direcção de Clientes Residenciais e Pequenas Empresas e a Direcção Comercial de Redes, Regulação, Empresas e Autarquias.

- Área de Gestão de Rede, que inclui a Direcção de Normalização e Tecnologia, a Direcção de Planeamento de Rede, a Direcção de Despacho/Condução e o Gabinete de Gestão de Contagem.

- Área de Serviços de Rede, que engloba a Direcção de Aprovisionamentos, a Direcção de Serviços de Rede e o Gabinete de Telecomunicações.

Preparando-se para o cenário de liberalização do sector eléctrico, a EDIS é hoje uma Empresa vertical que resultou de uma significativa reestruturação do sector que culminou com a fusão referida anteriormente.

O objectivo da EDIS é manter a liderança na qualidade de serviço prestado ao cliente. Para o efeito, implementou um novo modelo empresarial e organizativo, mais racional, e que visa responder a novos desafios empresariais, com a verticalização de áreas de gestão próprias, para permitir um acréscimo de eficiência, bem como responder aos desafios colocados pelas exigências crescentes dos seus clientes.

Os objectivos estratégicos da EDIS são assim os de garantir, de forma sustentável, a satisfação e qualidade de serviço prestado ao cliente, num cenário de liberalização, aumentando a eficácia comercial e de gestão do negócio.

Pertencendo ao Grupo EDP, que está cotado nos mercados bolsistas nacional e internacional, a EDIS pratica tarifas de venda de energia eléctrica fixadas por uma Entidade Reguladora do Sector Energético (ERSE), exterior e independente, e está sujeita a um Regulamento de Qualidade de Serviço elaborado pela Direcção Geral de Energia.

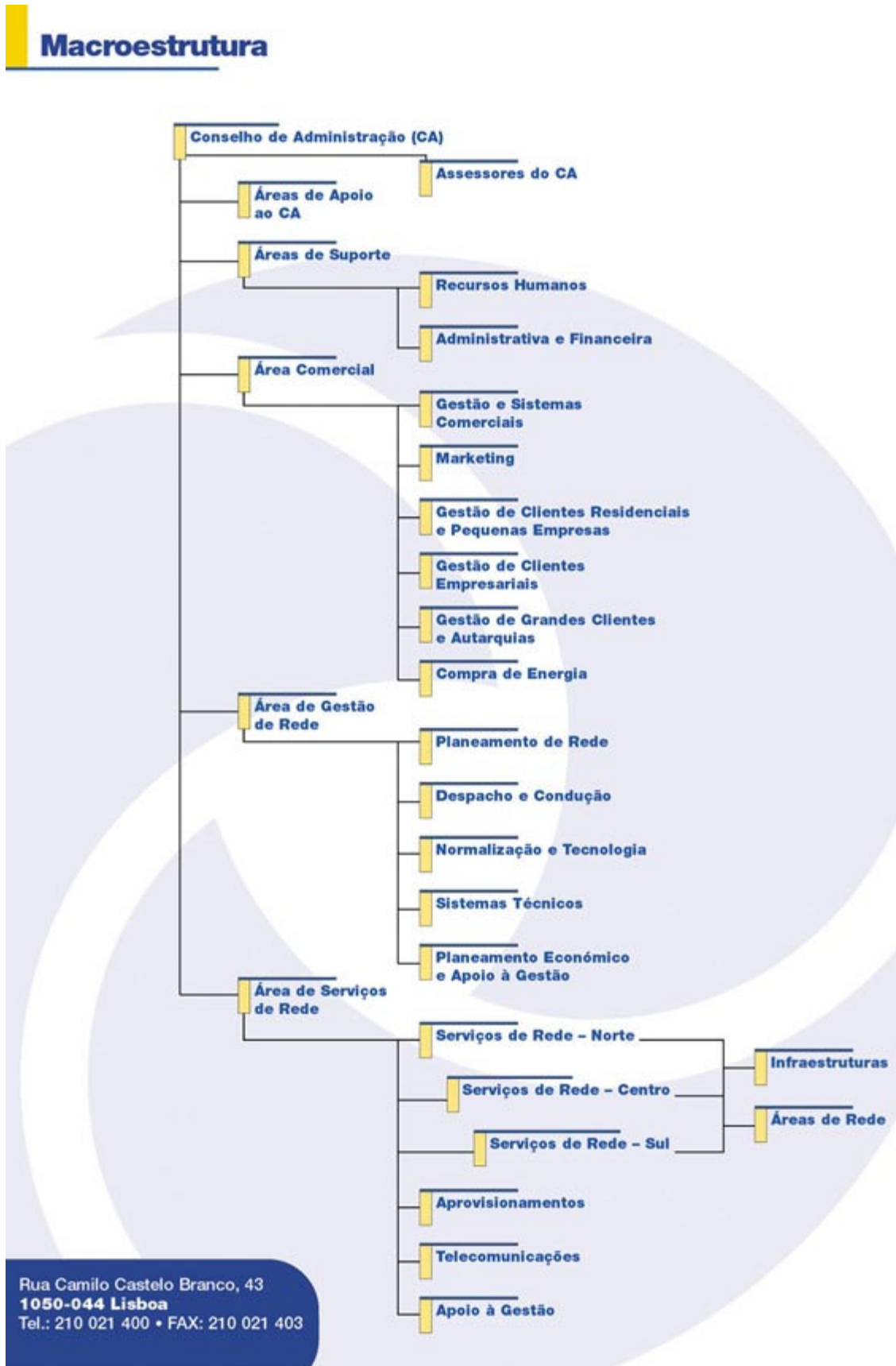


Figura 8 - Macroestrutura da EDP Distribuição, S.A.

A EDIS divide-se em 14 Áreas de Rede (figura 9) e 7 Regiões Comerciais, o que equivale a uma separação organizativa que implicou a revisão do modelo empresarial, bem como uma reformulação da implantação geográfica da empresa.

O novo modelo empresarial e organizativo é mais racional e, com a verticalização de áreas de gestão próprias, está a responder a novos desafios, com o objectivo de aumentar a eficiência.

Áreas de Rede - Número de Clientes e Consumo/Cliente

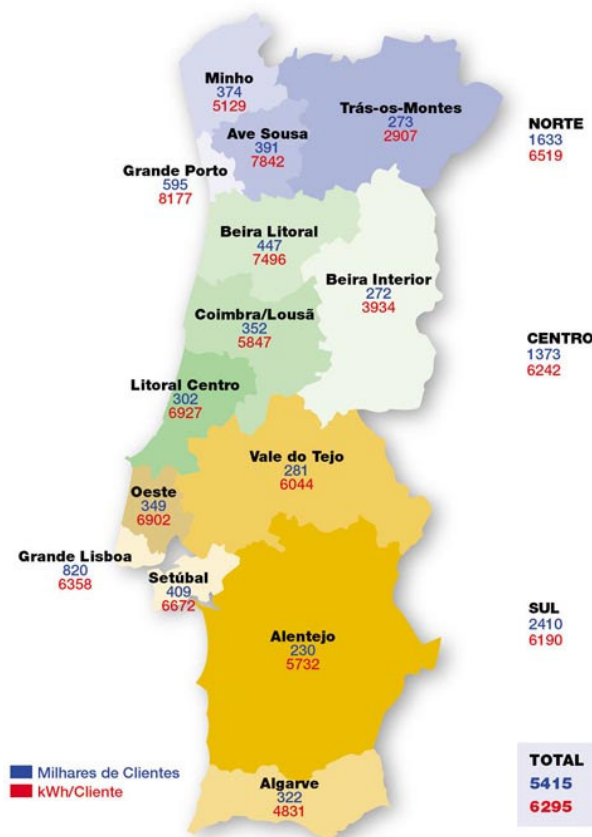


Figura 9 – Áreas de Rede, número de clientes e consumo/cliente

As 14 Áreas de Rede da EDIS formam a população deste estudo. Esta estrutura organizacional existe em pleno desde 2001, e como tal, a análise ficou restrita ao período de 2002 a 2006.

4.2 *MODELO INICIAL (MODELO 1)*

Um dos rácios utilizados para a cotação bolsista e para a medição da eficiência das empresas é o quociente clientes/trabalhadores. Na tabela II é apresentada a evolução deste indicador ao longo do período de 2002 a 2006 para as 14 DMUs.

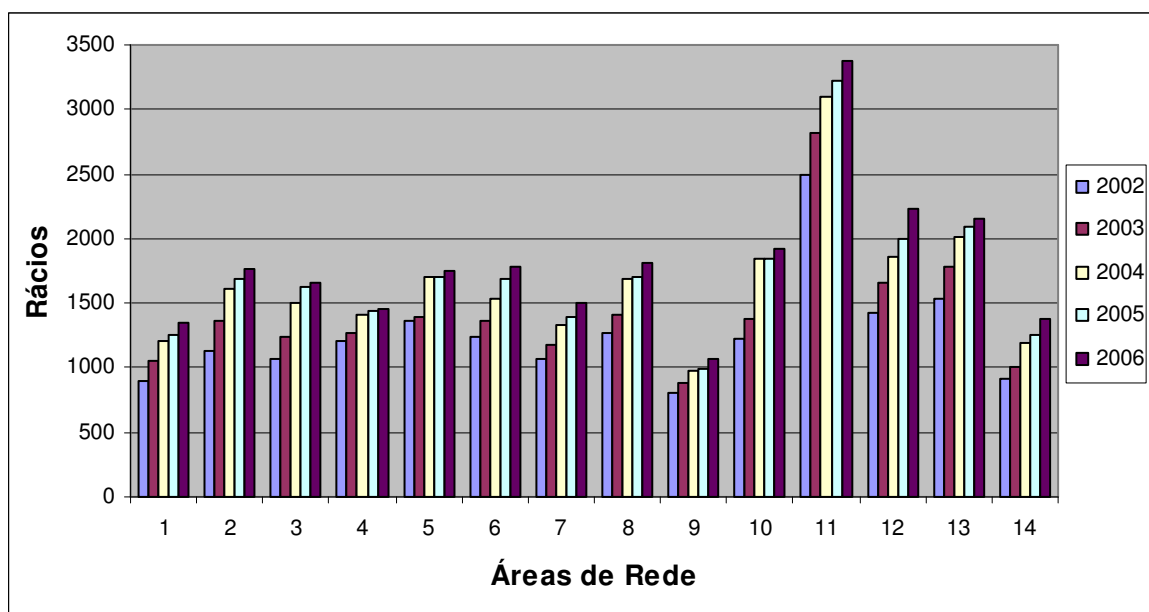


Tabela II – Rácios clientes/trabalhadores (2002-2006)

Da análise da tabela apresentada verifica-se que a unidade 11 destaca-se de todas as outras e apresenta igualmente uma evolução regular ao longo dos anos em causa. Este facto deve-se essencialmente à elevada densidade populacional da DMU 11. Esta análise é, no entanto, pouco discriminatória e muito inconclusiva para apurar pontos estratégicos de melhoria. O desenvolvimento de modelos de avaliação multidimensionais e o uso do DEA ganham assim mais justificação.

Como já foi referido, uma etapa fundamental no DEA é a escolha dos *inputs* e dos *outputs*, pois os resultados das eficiências são sensíveis à escolha destas variáveis (Pedraja-Chaparro et al., 1999). No contexto da distribuição de electricidade os *outputs* estão relacionados com o serviço de distribuição prestado aos clientes e os *inputs* estão relacionadas com os recursos usados para essa finalidade. Ao usar o DEA para avaliar o desempenho das empresas de distribuição procura-se que os *inputs* sejam minimizados e os *outputs* maximizados. Considerando que a avaliação da eficiência tende a ser influenciada pelos *inputs* e *outputs* seleccionados, estes devem, tanto quanto possível, reflectir os aspectos principais do processo de transformação em estudo. A juntar aos *inputs* e *outputs* discricionários, é fundamental considerar variáveis não discricionárias, de modo a ter em conta as diferenças no ambiente em que as DMUs operam. Estes são os factores que estão para além do controlo dos distribuidores de energia, mas que podem influenciar o custo da distribuição de electricidade tendo consequentemente um impacto sobre os seus desempenhos.

Baseado numa revisão de 20 estudos de *benchmarking* de empresas de distribuição de electricidade, Jamasb e Pollitt (2003) listaram os *inputs* e *outputs* mais usados, podendo verificar-se que não há nenhum consenso sobre quais são as variáveis que melhor descrevem o funcionamento das empresas de distribuição de energia eléctrica.

Alguns dos *inputs* comuns nos modelos de empresas de distribuição de electricidade incluem: a força de trabalho (por exemplo: número de empregados), recursos não humanos (por exemplo: comprimento da rede e capacidade dos transformadores), despesas (por exemplo: despesas de operação e de manutenção) e indicadores de qualidade (por exemplo: perdas na transmissão, frequência e duração das interrupções).

Os *outputs* mais utilizados nos estudos são: as unidades de energia entregues e o número de clientes.

Embora não exista consenso sobre quais os factores controláveis e não controláveis, é comum usar *inputs* não controláveis (por exemplo: densidade de clientes e condições climáticas) e *outputs* não controláveis (por exemplo: área de serviço) nos modelos de DEA destinados a avaliar a eficiência de empresas de distribuição de energia eléctrica.

Neste estudo escolhemos variáveis baseadas na revisão da literatura e em discussões informais com um grupo de peritos da área da distribuição de electricidade em Portugal. Estas discussões tiveram lugar entre Janeiro e Maio de 2007 e resultaram de encontros com um Director de uma das unidades em estudo e outros profissionais dessa organização.

Nesta base, foi desenvolvido um modelo assumindo CRS, tendo as seguintes variáveis:

Modelo 1 (Orientação *input*, CRS)

Inputs:

- X_1 = Custos operacionais (Euros);
- X_2 = Comprimento total da rede (km);
- X_3 = Capacidade dos transformadores (MVA);
- X_4 = Tempo de Interrupção Equivalente da Potência Instalada (TIEPI, em minutos).

Outputs:

- Y_1 = Número de clientes;
- Y_2 = Consumo (kWh);
- Y_3 = Área de serviço (km²).

O primeiro *input* escolhido, custos operacionais, reflecte os custos controláveis de cada área de distribuição. Os custos da distribuição de electricidade são normalmente decompostos em investimentos e custos operacionais que envolvem os custos de manutenção. No presente estudo, a capacidade total dos transformadores e o comprimento das linhas de distribuição foram usadas como “*proxy*” para o investimento. Estes *inputs* não foram considerados como factores ambientais pois existe evidência de que são controláveis pelas áreas de distribuição, mesmo a curto prazo. A variável custos operacionais foi seleccionada por ser considerada mais apropriada que o número de empregados ou os custos laborais, dado que existe uma forte política de *outsourcing* nos trabalhos de construção e manutenção.

O último *input* incluído é um indicador associado à qualidade de serviço, medindo os tempos de falta de fornecimento de energia. A inclusão de indicadores de qualidade nos estudos de avaliação de eficiência de empresas de distribuição de electricidade tem sido escassa. Giannakis *et al.* (2005) é uma excepção e realça a importância de ter em conta a dimensão da qualidade nestes estudos. O tempo de interrupção equivalente da potência instalada (TIEPI, em minutos) foi considerado o melhor indicador disponível para a medição da qualidade de serviço. Embora os indicadores da qualidade devam ser utilizados como *outputs*, considerando que neste caso o objectivo é minimizar o TIEPI,

é tecnicamente possível utilizá-lo no modelo de DEA como um *input*, como é sugerido por Dyson *et al.* (2001).

A respeito dos *outputs*, os dois *outputs* principais seleccionados (o número de clientes e a energia consumida) foram considerados como os principais indicadores de serviço a ter em conta no nosso estudo, uma opção corroborada por Jamasb e Pollitt (2003). Finalmente decidiu-se incluir a área de serviço como um *output* não discricionário para contemplar outros factores que têm impacto no desempenho das áreas de rede mas que estão fora de seu controlo. A área de serviço é um bom indicador para a dispersão geográfica dos clientes. Para além desta variável, os especialistas consultados expressaram a opinião de que não existiam outros factores que pudessem ter um impacto significativo na eficiência das DMUs.

A tabela III apresenta o descritivo estatístico para a nossa série de dados do ano de 2006. Podemos ver que o tamanho das DMUs varia consideravelmente, como é o caso do comprimento da rede que varia de 7680 km a 18646 km.

Variável	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
X₁: Custos operacionais (10³ euros)	53276	39907	80052	12275
X₂: Comprimento total da rede (km)	14182	7680	18646	3207
X₃: Capacidade dos transformadores (MVA)	1211	632	2748	648
X₄: TIEPI (minutos)	213	88	460	102
Y₁: Número de clientes	427325	251334	876975	164355
Y₂: Consumo (10³ kWh)	3271363	1098442	6435911	1580447
Y₃: Área de serviço (km²)	6356	567	21152	5806

Tabela III – Descritivo estatístico da distribuição de electricidade em Portugal (2006)

Considerando que a técnica de DEA presume a existência de uma correlação entre os *inputs* e *outputs*, executou-se uma análise da correlação entre as variáveis usadas (tabela IV). Os coeficientes de correlação entre os dois *inputs* (custos operacionais e capacidade

total dos transformadores) e dos *outputs* seleccionados são positivos, à excepção do *output* não discricionário: área de serviço. Pelo contrário, o comprimento da rede está positivamente correlacionado com a área de serviço, estando negativamente correlacionado com os outros dois *outputs* (número de clientes e consumo). Isto sugere que as unidades com uma área de serviço maior têm que investir mais para estabelecer uma rede mais longa de serviço, o que poderá não corresponder a mais clientes e maiores consumos. No entanto, embora as redes mais extensas impliquem custos de manutenção mais elevados, no global, não se encontra um relacionamento positivo entre a área de serviço e os custos operacionais.

<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>		
	Y ₁ : Número de clientes	Y ₂ : Consumo (10 ³ kWh)	Y ₃ : Área de serviço (km ²)
X ₁ : Custos operacionais (10 ³ euros)	0,7066	0,7951	-0,3217
X ₂ : Comprimento total da rede (km)	-0,2246	-0,2163	0,5348
X ₃ : Capacidade dos transformadores (MVA)	0,9194	0,8868	-0,5860
X ₄ : Tempo total de interrupção (minutos)	-0,3349	-0,1810	0,2726

Tabela IV – Coeficientes de Correlação (2006)

Também podemos verificar que o TIEPI (*output* indesejável) está correlacionado positivamente com a área de serviço, sugerindo que, em áreas com extensas redes de distribuição, poderá ser necessário, em média, mais tempo para repor o serviço.

4.3 ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS E REVISÃO DO MODELO 1

As designações das Áreas de Rede foram substituídas por números de modo a preservar o anonimato. Inicialmente a análise dos resultados foi realizada para o ano de operação mais recente (2006). Foi usado um modelo *input-oriented*, considerando que os *outputs* não são directamente controlados pelas unidades de distribuição. Considerou-se que o principal objectivo de cada Área de Rede seria, neste primeiro modelo, a redução dos custos operacionais e do tempo total de interrupção, rentabilizando ao máximo a rede de distribuição e a capacidade dos transformadores, mantendo o número dos clientes e o consumo. Como indicado por Jamasb e Pollitt (2003) uma especificação *input-oriented* é geralmente considerada a mais apropriada para empresas de distribuição de electricidade. No entanto, é importante salientar que, o grau de controlo das unidades organizativas sobre alguns dos *inputs* é limitado. Por exemplo, o grupo de especialistas participantes no estudo mencionou que, embora o comprimento da rede e a capacidade dos transformadores possam ser reduzidas, é muito pouco provável que isso aconteça. Esta realidade impõe algumas restrições no que diz respeito à implementação de algumas das metas sugeridas pela análise DEA, pois essas metas poderão não ser realisticamente atingíveis.

Na tabela seguinte estão retratados os níveis de eficiência e os pesos virtuais atribuídos a cada uma das variáveis do Modelo 1 para o ano de 2006. Por exemplo, o peso “zero” significa que a DMU correspondente optou por atribuir um peso próximo de zero à variável, já que é o peso que mais a beneficia em termos de eficiência relativa.

DMU	Eficiência	$\Sigma V_1 X_{1j}$	$\Sigma V_2 X_{2j}$	$\Sigma V_3 X_{3j}$	$\Sigma V_4 X_{4j}$	$\Sigma U_1 Y_{1j}$	$\Sigma U_2 Y_{2j}$	$\Sigma U_3 Y_{3j}$
1	85,78%	0,00	0,00	0,90	0,10	0,67	0,29	0,04
2	100,00%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,94	0,06
3	93,77%	0,28	0,00	0,72	0,00	1,00	0,00	0,00
4	100,00%	0,00	0,00	1,00	0,00	0,84	0,00	0,16
5	100,00%	0,41	0,00	0,28	0,31	0,62	0,00	0,38
6	99,83%	0,26	0,00	0,74	0,00	0,00	0,93	0,07
7	100,00%	0,00	0,00	1,00	0,00	0,59	0,37	0,05
8	90,44%	0,29	0,00	0,71	0,00	1,00	0,00	0,00
9	100,00%	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
10	88,66%	0,56	0,00	0,44	0,00	0,93	0,00	0,07
11	100,00%	0,35	0,00	0,00	0,65	1,00	0,00	0,00
12	95,30%	0,00	0,60	0,40	0,00	0,90	0,00	0,10
13	100,00%	0,00	0,15	0,78	0,07	0,00	1,00	0,00
14	81,72%	0,63	0,12	0,25	0,00	0,59	0,07	0,34

Tabela V – Modelo 1 - Eficiência e inputs/outputs virtuais para 2006

Não impondo qualquer restrição ao Modelo verifica-se que existe pouca discriminação e alguma falta de realismo, face à possibilidade de cada unidade poder atribuir peso nulo a algumas variáveis importantes.

A fim de discutir a validade dos resultados do Modelo 1 foi organizado um seminário. Este seminário teve lugar em Junho de 2007 e durou aproximadamente três horas. Participaram neste evento cinco peritos do sector da distribuição da electricidade em Portugal, incluindo o Director de um das áreas de distribuição em estudo.

4.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO 2 E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A discussão do Modelo 1 e a análise dos resultados com os decisores foi útil por várias razões. Em primeiro lugar, mostrou que uma adequada especificação dos modelos DEA desempenha um papel importante na aceitação e implementação dos resultados obtidos. Embora as variáveis utilizadas no modelo anterior tenham sido aceites pelos participantes, a utilização do TIEPI como um *input* causou algum desconforto no seio do grupo. Como já foi mencionado, uma vez que esta variável se trata de um *output* indesejável e, considerando que não existe um protocolo universalmente aceite para lidar com esta questão, inicialmente decidiu-se mover a variável dos *outputs* para o lado dos *inputs*. A reacção dos peritos a esta acção, sugere, contudo, que o protocolo adoptado para abordar esta questão pode ser relevante. Na verdade, o protocolo adoptado poderá determinar a aceitabilidade, ou não, dos resultados pelos decisores. Foi então decidido que no Modelo 1 revisto, a seguir denominado por Modelo 2, o TIEPI seria considerado como um *output*, tal como foi sugerido pelos participantes no seminário. Para esse efeito, e a fim de garantir um resultado isotónico, decidimos subtrair o valor da variável original a um número suficientemente grande. Considerando que o valor máximo do TIEPI durante o período de 5 anos foi de 932 minutos, é subtraído o TIEPI de cada DMU a 1000 minutos. Este protocolo foi aplicado de acordo com a sugestão de Dyson *et al.* (2001).

Em segundo lugar, os participantes no seminário foram surpreendidos pelo número de DMUs classificadas como eficientes. Embora os resultados alcançados por algumas DMUs estivessem em conformidade com as suas expectativas, no sentido em que estas

são percebidas dentro do grupo como as mais eficientes (por exemplo, DMUs 11 e 13), os resultados de outras DMUs foram consideradas claramente exagerados e irrealistas (por exemplo, DMUs 4 e 9). Explorando as razões pelas quais estas DMUs foram apresentadas como eficientes, tornou-se evidente que era devido à estrutura dos pesos escolhidos. A DMU 9 é um bom exemplo. Como pode ser visto a partir dos resultados da tabela V, esta DMU excluiu do cálculo da eficiência três dos *inputs* e dois dos *outputs*, ao atribuir-lhes um peso “zero”. O facto dos resultados apresentarem tantos “zeros” entre os pesos atribuídos foi considerado inaceitável pelos decisores. Em particular, os participantes do seminário mencionaram que o *input* OPEX (custos operacionais) é claramente o mais importante dos quatro *inputs*, tratando-se do *input* sobre o qual as áreas de distribuição exercem um maior grau de controlo. Portanto, eles sublinharam que seria inadequado as áreas ignorarem essa variável na análise da eficiência, como aconteceu com metade das DMUs no Modelo 1.

Foi entendido pelos participantes que deve ser permitida alguma flexibilidade na escolha dos pesos e foi defendido que essa flexibilidade deve ser limitada dentro de intervalos pré-especificados baseados na percepção da importância de cada variável. Uma definição apropriada de limites inferiores e superiores para cada intervalo impediria que alguns pesos assumissem um valor nulo.

Mesmo em relação às DMUs reconhecidas como referência de bom desempenho, o grupo de peritos não ficou muito confortável com algumas das estruturas de peso escolhidas, e com os 100% de pontuação alcançados por algumas DMUs. De entre as DMUs de referência foi reconhecido pelo grupo que algumas delas têm claramente um melhor desempenho do que outras, e sublinharam, que mesmo as melhores unidades

organizativas têm margem para melhorias. Isto sugere que os decisores presentes no seminário utilizam uma escala global, em vez de uma escala relativa para comparar as áreas de distribuição. Por outras palavras, tornou-se evidente durante o seminário que o grupo compara as diferentes unidades em termos absolutos.

A baixa discriminação fornecida pelo Modelo inicial, com sete das catorze DMUs a serem consideradas eficientes, foi por nós antecipada e pode ser em parte atribuída ao número relativamente elevado de *inputs* e *outputs*, em comparação com o número de unidades sob avaliação. Embora a redução do número de variáveis pudesse melhorar a discriminação, esta não foi considerada uma boa solução por si só, pois todas as variáveis foram consideradas importantes pelo grupo para realizar uma avaliação abrangente das unidades de distribuição de electricidade. A única excepção foi a variável "Número de clientes", que os participantes no seminário consideraram menos informativa e relevante do que a variável "Consumo". Na verdade, foi salientado que o objectivo final das unidades de distribuição é aumentar a quantidade de energia fornecida e não necessariamente o número de clientes servidos. Considerando os pontos de vista dos participantes e a alta correlação entre as duas variáveis (cerca de 91%), decidiu-se excluir a variável "Número de clientes" no Modelo 2.

A fim de melhorar ainda mais a discriminação entre DMUs e obter uma estrutura de pesos razoável, decidiu-se incluir restrições aos pesos no Modelo 2. A necessidade de tratar esta questão foi crítica por duas razões. Em primeiro lugar, porque era a única maneira de garantir que os resultados seriam aceites pelos decisores. Em segundo lugar, porque durante o seminário tornou-se evidente que era importante explorar o impacto

das economias de escala na eficiência das diferentes áreas de distribuição. Para o efeito, seria importante utilizar um modelo VRS.

Atendendo a que um modelo VRS tende a ser menos discriminatório que um modelo CRS, na medida em que poderá permitir que algumas das DMUs classificadas como ineficientes no modelo CRS venham a ser classificadas como eficientes, considerou-se necessário incluir restrições aos pesos.

No entanto, a definição de restrições aos pesos revelou ser mais difícil do que o previsto. Embora o uso de *trade-offs* de produção permita melhorar a discriminação dos resultados e, ao mesmo tempo, preservar o significado tradicional da eficiência como um factor de melhoria radial para os *inputs* e *outputs* (Podinovsky, 2004, 2005, 2006), os decisores mostraram alguma resistência quanto à definição desses *trade-offs*. Embora os decisores fossem capazes de hierarquizar facilmente os diferentes *inputs* e *outputs* por ordem de importância, demonstraram grande dificuldade e relutância em exprimir possíveis *trade-offs* entre as variáveis.

Sabendo que, as medidas de eficiência perdem o seu significado tecnológico quando são aplicadas restrições de peso baseadas na percepção da importância das variáveis usadas (Allen *et al.*, 1997), definiu-se um leque de *trade-offs* baseados na análise dos dados disponíveis e no conhecimento sobre o funcionamento do sector eléctrico Português. Os *trade-offs* escolhidos foram alvo de discussão e revistos por alguns dos participantes no seminário. Neste sentido, o Modelo inicial foi revisto e foram acrescentadas algumas restrições aos pesos. Em seguida apresenta-se o Modelo 2 e as restrições consideradas.

Modelo 2 (Orientação *input*, CRS)

Inputs:

- X_1 = Custos operacionais (Euros);
- X_2 = Comprimento total da rede (km);
- X_3 = Capacidade dos transformadores (MVA);

Outputs:

- Y_1 = Consumo (kWh);
- Y_2 = Área de serviço (km²);
- Y_3 = 1000 - TIEPI (minutos).

Restrições dos pesos:

$$(1) 40U_1 - V_1 \leq 0;$$

$$(2) U_3 - 84000V_1 \leq 0.$$

A primeira restrição significa que, se o aumento dos custos operacionais for de um euro, a DMU deverá ser capaz de fornecer, pelo menos, mais 40 kWh de electricidade. A segunda restrição significa que, se os custos operacionais sofrerem um aumento de 84000 euros, a DMU deverá ser capaz de diminuir o TIEPI em pelo menos um minuto. Isto significa que Y_3 deve, portanto, aumentar pelo menos uma unidade.

A tabela VI apresenta os resultados do Modelo 2. Revela-se a eficiência para cada um das 14 áreas de distribuição que operaram em Portugal, em 2006, bem como os respectivos *inputs* e *outputs* virtuais.

DMU	Eficiência	$\Sigma V_1 X_{1j}$	$\Sigma V_2 X_{2j}$	$\Sigma V_3 X_{3j}$	$\Sigma U_1 Y_{1j}$	$\Sigma U_2 Y_{2j}$	$\Sigma U_3 Y_{3j}$
1	78,24%	0,30	0,00	0,70	0,56	0,02	0,41
2	85,37%	0,46	0,54	0,00	0,99	0,00	0,01
3	76,30%	0,43	0,00	0,57	0,28	0,00	0,72
4	100,00%	0,44	0,00	0,56	0,00	0,28	0,72
5	100,00%	1,00	0,00	0,00	0,10	0,28	0,62
6	96,74%	0,46	0,00	0,54	0,90	0,10	0,00
7	98,11%	0,35	0,00	0,65	0,53	0,06	0,41
8	88,08%	0,30	0,00	0,70	0,54	0,05	0,41
9	100,00%	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
10	90,74%	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
11	100,00%	0,43	0,57	0,00	1,00	0,00	0,00
12	90,12%	0,24	0,76	0,00	0,47	0,14	0,39
13	100,00%	0,62	0,00	0,38	0,80	0,00	0,20
14	79,82%	1,00	0,00	0,00	0,54	0,46	0,00

Tabela VI – Modelo 2 - Eficiência e inputs/outputs virtuais para 2006

Conforme mostra a tabela VI, os resultados do Modelo 2 são mais discriminatórios do que os do Modelo 1 (tabela V). Embora a estrutura de pesos dos resultados do Modelo 2 não reflecta completamente a importância das variáveis tal como é percebida pelos especialistas, esta estrutura de pesos foi considerada muito mais adequada e aceitável do que a do Modelo 1. Ainda assim, os especialistas consideraram inapropriado para a DMU 9 dar todo o peso ao *output* "Área de Serviço", que não é controlável, excluindo do cálculo da eficiência os outros dois *outputs*. Da mesma forma, consideraram inadequado para esta DMU ignorar o *input* "OPEX", que é visto como o mais importante *input*. É evidente que pode haver soluções alternativas com outros pesos

óptimos, não representados na tabela VI. Ao incorporar mais restrições aos pesos poder-se-ia forçar o modelo a identificar a melhor solução. No entanto, é importante salientar que a variável "Área de Serviço" não é controlável, e portanto, a definição de *trade-offs* envolvendo esta variável não foi considerada adequada. Em vez disso, decidiu-se criar um modelo alternativo, excluindo este *output* não controlável, e explorar a sensibilidade dos resultados obtidos no Modelo 2 a esta alteração.

4.5 CONSTRUÇÃO DO MODELO 3 E ANÁLISE DA EXISTÊNCIA DE ECONOMIAS DE ESCALA

Como mencionado anteriormente, o uso de variáveis não discricionárias é importante a fim de ter em conta as diferenças do ambiente operacional de cada DMU. Os participantes do seminário concordaram que o facto da DMU 9 possuir a maior área de serviço e, portanto, uma maior dispersão geográfica dos seus clientes, poderia influenciar os custos operacionais, no entanto, sublinharam que uma DMU não deve ser considerada como eficiente por se focar exclusivamente num *output* que não pode controlar.

Foi assim considerado útil executar um modelo alternativo, a seguir designado por Modelo 3, sem a variável "Área de serviço". Em seguida apresenta-se este Modelo, bem como os resultados que produziu (tabela VII).

Modelo 3 (Orientação *input*, CRS)

Inputs:

- X_1 = Custos operacionais (Euros);
- X_2 = Comprimento total da rede (km);
- X_3 = Capacidade dos transformadores (MVA);

Outputs:

- Y_1 = Consumo (kWh);
- Y_2 = 1000 - TIEPI (minutos).

Restrições dos pesos:

$$(1) 40U_1 - V_1 \leq 0;$$

$$(2) U_2 - 84000V_1 \leq 0.$$

É importante salientar que tanto o Modelo 2 como o 3, e os seus resultados, foram discutidos num segundo seminário, que durou cerca de duas horas e meia, e que contou com a participação de seis elementos da Empresa. Quatro dos participantes estiveram também presentes no primeiro seminário, incluindo o Director de um das áreas de distribuição em estudo.

DMU	Eficiência	$\Sigma V_1 X_{1j}$	$\Sigma V_2 X_{2j}$	$\Sigma V_3 X_{3j}$	$\Sigma U_1 Y_{1j}$	$\Sigma U_2 Y_{2j}$
1	77,12%	0,30	0,00	0,70	0,58	0,42
2	85,37%	0,46	0,54	0,00	0,99	0,01
3	76,30%	0,43	0,00	0,57	0,28	0,72
4	96,77%	0,60	0,00	0,40	0,00	1,00
5	100,00%	0,85	0,00	0,15	0,00	1,00
6	89,81%	0,48	0,00	0,52	1,00	0,00
7	93,45%	0,35	0,00	0,65	0,55	0,45
8	85,38%	0,29	0,00	0,71	0,55	0,45
9	82,27%	0,52	0,00	0,48	0,23	0,77
10	90,49%	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
11	100,00%	0,43	0,57	0,00	1,00	0,00
12	86,45%	0,59	0,41	0,00	0,00	1,00
13	100,00%	0,62	0,00	0,38	0,80	0,20
14	67,74%	0,45	0,00	0,55	0,30	0,70

Tabela VII – Modelo 3 - Eficiência e inputs/outputs virtuais para 2006

Os resultados produzidos pelo Modelo 3, foram os mais consensuais do ponto de vista dos participantes nos seminários. Este modelo é o que tem maior poder discriminatório (tabela VII e X) e uma estrutura de pesos que melhor reflecte as opiniões dos especialistas que participaram no processo. Por exemplo, a DMU 9 apresenta agora uma eficiência que foi considerada muito mais realista do que as produzidas pelos modelos anteriores. Além disso, a estrutura de pesos desta DMU é agora considerada mais adequada. Estes aspectos foram muito importantes para dar credibilidade e legitimidade aos resultados obtidos. A informação sobre as “referências” (tabela VIII) também desempenhou um papel relevante neste contexto. Por exemplo, a DMU 13 é claramente percebida como uma das mais eficientes unidades e considerada como um modelo de aprendizagem para outras unidades. Esta percepção dos participantes foi confirmada pelos resultados do DEA, pois tal como pode ser constatado pela análise da tabela VIII,

a DMU 13 surge como uma referência para quase todas as outras, mais concretamente para 10 DMUs.

No entanto, o facto da DMU 5 surgir como eficiente causou inicialmente alguma surpresa para alguns dos participantes. Esta surpresa cessou quando perceberam que as unidades ineficientes que utilizaram a DMU 5 como modelo de aprendizagem tinham de facto estruturas idênticas a esta.

DMU	Eficiência	Benchmarks
1	77,12%	13 (0,89)
2	85,37%	11 (0,56) 13 (0,44)
3	76,30%	5 (0,33) 13 (0,50)
4	96,77%	5 (0,89)
5	100,00%	4
6	89,81%	13 (1,03)
7	93,45%	13 (0,68)
8	85,38%	13 (0,65)
9	82,27%	5 (0,34) 13 (0,32)
10	90,49%	13 (0,91)
11	100,00%	1
12	86,45%	13 (0,79)
13	100,00%	10
14	67,74%	5 (0,08) 13 (0,55)

Tabela VIII – Modelo 3 – Referências para 2006

Os decisores também reconheceram como muito útil o facto de o DEA propor metas específicas para que as DMUs não eficientes se tornem eficientes. Como pode ser constatado pela análise da tabela IX, no caso da DMU 6, por exemplo, para que esta área de distribuição de energia eléctrica se tornasse eficiente para além de dever utilizar apenas cerca de 90% dos inputs actuais, deveria ainda reduzir o comprimento da rede em mais 8118,9 km, e reduzir o TIEPI em 399,42 minutos. No entanto, foi também

realçado pelos decisores a dificuldade em atingir algumas das metas apresentadas pelo DEA. Este aspecto é particularmente notório no que respeita às metas de redução do comprimento de rede para alguns das DMUs. Ainda que exista alguma capacidade de alterar o comprimento de rede, diminuições drásticas neste input não são exequíveis no curto prazo.

DMU	Eficiência	{S} OPEX {I}	{S} Rede total (km) {I}	{S} Pot ^a inst (MVA) {I}	{S} Consumos (kWh) {O}	{S} 1000-TIEPI MT (Total) {O}
1	77,12%	0,08	6217,18	0,00	1,61	0,00
2	85,37%	0,12	0,00	427,94	4,71	0,00
3	76,30%	0,04	2301,92	0,00	16,86	0,00
4	96,77%	0,01	274,05	0,00	282939941,08	0,00
5	100,00%					
6	89,81%	0,00	8118,90	0,00	2,56	399,42
7	93,45%	0,00	8314,63	0,00	0,04	0,00
8	85,38%	0,00	5230,36	0,00	0,05	0,00
9	82,27%	0,00	6088,98	0,00	0,12	0,00
10	90,49%	0,00	4837,33	36,64	1566557033,35	0,00
11	100,00%					
12	86,45%	0,02	0,00	75,80	85679134,29	0,00
13	100,00%					
14	67,74%	0,01	4677,43	0,00	3,61	0,00

Tabela IX – Modelo 3 – Folgas em inputs e outputs em 2006

	2002	2003	2004	2005	2006
1	84,45%	80,26%	73,29%	76,38%	77,12%
2	88,16%	81,84%	85,78%	83,94%	85,37%
3	92,23%	83,54%	78,60%	82,36%	76,30%
4	100,00%	96,08%	97,51%	100,00%	96,77%
5	100,00%	100,00%	100,00%	99,45%	100,00%
6	95,57%	83,77%	76,93%	82,32%	89,81%
7	93,09%	85,93%	100,00%	95,79%	93,45%
8	90,75%	85,81%	91,00%	89,93%	85,38%
9	70,44%	64,42%	84,94%	84,81%	82,27%
10	95,34%	72,27%	88,45%	87,10%	90,49%
11	100,00%	100,00%	97,79%	97,64%	100,00%
12	91,40%	93,05%	96,25%	92,19%	86,45%
13	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
14	61,62%	56,02%	54,86%	64,38%	67,74%
Média	90,22%	84,50%	87,53%	88,31%	87,94%
Mínimo	61,62%	56,02%	54,86%	64,38%	67,74%
Máximo	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Desvio Padrão	11,43%	13,37%	13,10%	10,29%	9,86%

Tabela X – Modelo 3 - Resumo das eficiências totais

Considerando que o Modelo 3 foi aceite por todos os especialistas participantes no processo como o mais apropriado para efectuar uma comparação justa no sector, decidiu-se executá-lo para cada um dos cinco anos em estudo (ver tabela X). Também se optou por analisar as mudanças na produtividade ao longo do tempo. Para tal, calcularam-se os MPIs para os períodos de 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 e, finalmente, um índice global para o período de 2002-2006. É importante mencionar que os custos operacionais foram medidos a preços fixos de 2002, utilizando os índices de inflação publicados pelo Instituto Nacional de Estatística Português.

A tabela XI apresenta alguns dos resultados obtidos para a análise de produtividade. Os resultados sugerem que, em média, a produtividade mudou consideravelmente durante o período de 5 anos. Em média, os resultados indicam que, para o período de 2002-2006, o sector beneficiou de ganhos de produtividade em torno dos 11%. Estes ganhos resultaram de um acréscimo de 14% relativos a inovação tecnológica (deslocamento da fronteira de eficiência) e de uma diminuição de 2% da eficiência média das DMUs (medida pela distância de cada DMU à sua respectiva fronteira temporal). Um olhar mais atento para os resultados permite verificar, contudo, que a maior parte dos ganhos de produtividade foram alcançados nos primeiros anos do período considerado. Além disso, nem todas as DMUs contribuíram para estes ganhos. Por exemplo, a DMU 9 mostra, durante o período de cinco anos, ganhos de produtividade em torno dos 34%. Esta unidade beneficiou não só de inovação tecnológica, mas também de acréscimos significativos na sua eficiência. Contrariamente, o MPI da unidade de distribuição 3 mostra que basicamente não houve mudanças na produtividade de 2002 a 2006. No entanto, a decomposição do índice nos seus dois componentes mostra que a fronteira tecnológica em torno desta unidade melhorou significativamente (20% de progresso),

mas a unidade não foi capaz de acompanhar o ritmo das suas congéneres, mostrando uma diminuição significativa na eficiência ao longo do período em estudo.

DMU	2002-03			2003-04			2004-05			2005-06			2002-06		
	C	F	MPI	C	F	MPI	C	F	MPI	C	F	MPI	C	F	MPI
1	0,95	1,03	0,98	0,91	1,07	0,98	1,04	1,08	1,12	1,01	0,99	1,00	0,91	1,18	1,08
2	0,93	0,97	0,90	1,05	1,01	1,06	0,98	1,18	1,15	1,02	1,01	1,03	0,97	1,12	1,08
3	0,91	1,07	0,97	0,94	1,14	1,08	1,05	0,97	1,02	0,93	1,00	0,93	0,83	1,20	0,99
4	0,96	1,03	0,99	1,01	1,11	1,13	1,03	0,94	0,96	0,97	1,01	0,97	0,97	1,06	1,03
5	1,00	1,01	1,01	1,00	1,07	1,07	0,99	0,97	0,96	1,01	1,01	1,02	1,00	1,05	1,05
6	0,88	1,05	0,92	0,92	1,02	0,94	1,07	1,15	1,23	1,09	1,00	1,09	0,94	1,17	1,10
7	0,92	1,02	0,95	1,16	1,03	1,20	0,96	1,04	0,99	0,98	0,99	0,96	1,00	1,11	1,12
8	0,95	1,04	0,99	1,06	1,08	1,15	0,99	1,02	1,00	0,95	0,99	0,94	0,94	1,19	1,12
9	0,91	1,02	0,94	1,32	1,07	1,41	1,00	1,01	1,01	0,97	1,00	0,97	1,17	1,15	1,34
10	0,76	1,09	0,82	1,22	1,17	1,43	0,98	0,92	0,91	1,04	0,99	1,03	0,95	1,15	1,09
11	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,98	1,00	1,10	1,10	1,02	1,00	1,03	1,00	1,05	1,05
12	1,02	1,06	1,07	1,03	1,06	1,10	0,96	1,03	0,99	0,94	0,99	0,93	0,95	1,20	1,13
13	1,00	1,01	1,01	1,00	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,09	1,09
14	0,91	1,04	0,95	0,98	1,04	1,02	1,17	1,09	1,28	1,05	0,99	1,04	1,10	1,19	1,31
Média	0,94	1,03	0,96	1,04	1,06	1,11	1,02	1,04	1,05	1,00	1,00	0,99	0,98	1,14	1,11
Mínimo	0,76	0,97	0,82	0,91	1,00	0,94	0,96	0,92	0,91	0,93	0,99	0,93	0,83	1,05	0,99
Máximo	1,02	1,09	1,07	1,32	1,17	1,43	1,17	1,18	1,28	1,09	1,01	1,09	1,17	1,20	1,34
Desvio Padrão	0,07	0,03	0,06	0,12	0,05	0,15	0,06	0,08	0,11	0,05	0,01	0,05	0,08	0,06	0,10

Nota: O MPI foi calculado usando o software DEA desenvolvido por Holger Scheell: EMS Versão 1.3

(Scheel, 2000). C=Catching up effect; F = Frontier shift effect; MPI = Malmquist productivity index.

Tabela XI – Modelo 3 - Índices de Crescimento de Produtividade de Malmquist e Decomposições de 2002 a 2006

Para concluir a análise, decidiu-se explorar o efeito de economias de escala no sector. Este aspecto é relevante por duas razões principais. Em primeiro lugar, o pressuposto de VRS justifica-se porque as unidades diferem consideravelmente em tamanho, sendo a escala um factor importante na determinação da estrutura de custos. Uma unidade com

um tamanho acima da média poderá beneficiar de economias de escala no que se refere à instalação e manutenção da rede. Além disso, a análise dos dados mostrou que as despesas operacionais não são proporcionais ao número de clientes, o que sugere a existência de rendimentos de escala variáveis neste sector. Em segundo lugar, durante a fase final de execução da presente investigação, a estrutura de distribuição da EDP sofreu uma grande transformação onde as catorze áreas em estudo foram fundidas em seis regiões de distribuição. Como tal, foi considerado importante determinar em que medida os resultados do DEA corroboram a posição da empresa de que, operando com um menor número de DMUs de maior escala, seria mais produtivo.

As cinco tabelas seguintes revelam a evolução das percentagens da eficiência técnica e de escala ao longo dos anos em estudo utilizando o Modelo 3 (tabelas XII a XVI).

2002	Eficiência Total	Eficiência Técnica	Eficiência de Escala	Rendimentos de Escala
1	84,45%	84,90%	99,47%	IRS
2	88,16%	90,85%	97,04%	IRS
3	92,23%	92,99%	99,18%	IRS
4	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
5	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
6	95,57%	95,83%	99,73%	IRS
7	93,09%	98,93%	94,10%	IRS
8	90,75%	100,00%	90,75%	IRS
9	70,44%	100,00%	70,44%	IRS
10	95,34%	96,38%	98,92%	DRS
11	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
12	91,40%	100,00%	91,40%	IRS
13	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
14	61,62%	84,95%	72,54%	IRS
Média	90,22%	96,06%	93,83%	
Mínimo	61,62%	84,90%	70,44%	
Máximo	100,00%	100,00%	100,00%	
Desvio Padrão	11,43%	5,56%	10,00%	

Tabela XII – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2002

2003	Eficiência Total	Eficiência Técnica	Eficiência de Escala	Rendimentos de Escala
1	99,51%	100,00%	99,51%	IRS
2	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
3	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
4	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
5	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
6	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
7	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
8	89,30%	100,00%	89,30%	IRS
9	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
10	82,56%	93,79%	88,03%	IRS
11	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
12	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
13	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
14	84,70%	88,38%	95,84%	IRS
Média	96,86%	98,73%	98,05%	
Mínimo	82,56%	88,38%	88,03%	
Máximo	100,00%	100,00%	100,00%	
Desvio Padrão	6,29%	3,41%	4,13%	

Tabela XIII – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2003

2004	Eficiência Total	Eficiência Técnica	Eficiência de Escala	Rendimentos de Escala
1	80,72%	81,15%	99,47%	IRS
2	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
3	92,83%	93,04%	99,77%	DRS
4	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
5	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
6	90,99%	100,00%	90,99%	DRS
7	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
8	89,94%	99,43%	90,46%	IRS
9	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
10	84,79%	93,83%	90,37%	IRS
11	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
12	96,77%	100,00%	96,77%	IRS
13	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
14	80,85%	84,72%	95,43%	IRS
Média	94,06%	96,58%	97,38%	
Mínimo	80,72%	81,15%	90,37%	
Máximo	100,00%	100,00%	100,00%	
Desvio Padrão	7,45%	6,28%	3,93%	

Tabela XIV – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2004

2005	Eficiência Total	Eficiência Técnica	Eficiência de Escala	Rendimentos de Escala
1	84,91%	85,14%	99,73%	DRS
2	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
3	94,34%	94,48%	99,85%	DRS
4	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
5	99,78%	100,00%	99,78%	IRS
6	93,43%	100,00%	93,43%	DRS
7	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
8	91,35%	100,00%	91,35%	IRS
9	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
10	88,57%	98,49%	89,93%	IRS
11	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
12	96,58%	100,00%	96,58%	IRS
13	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
14	80,83%	85,94%	94,05%	IRS
Média	94,99%	97,43%	97,48%	
Mínimo	80,83%	85,14%	89,93%	
Máximo	100,00%	100,00%	100,00%	
Desvio Padrão	6,42%	5,25%	3,70%	

Tabela XV – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2005

2006	Eficiência Total	Eficiência Técnica	Eficiência de Escala	Rendimentos de Escala
1	77,12%	78,65%	98,05%	IRS
2	85,37%	85,37%	100,00%	CRS
3	76,30%	82,09%	92,95%	IRS
4	96,77%	100,00%	96,77%	IRS
5	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
6	89,81%	90,96%	98,74%	DRS
7	93,45%	100,00%	93,45%	IRS
8	85,38%	100,00%	85,38%	IRS
9	82,27%	94,15%	87,38%	IRS
10	90,49%	95,07%	95,18%	IRS
11	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
12	86,45%	100,00%	86,45%	IRS
13	100,00%	100,00%	100,00%	CRS
14	67,74%	82,52%	82,09%	IRS
Média	87,94%	93,49%	94,03%	
Mínimo	67,74%	78,65%	82,09%	
Máximo	100,00%	100,00%	100,00%	
Desvio Padrão	9,9%	8,1%	6,3%	

Tabela XVI – Modelo 3 - Eficiências da distribuição de electricidade em Portugal em 2006

Optou-se por concentrar a análise dos resultados obtidos para o último ano de estudo (2006). Apresenta-se a eficiência total dividida em eficiência técnica e eficiência de escala na tabela XVI.

Em 2006, a média da eficiência total das 14 unidades de distribuição rondou os 88%, com um desvio padrão de aproximadamente 10%, o que sugere que pode haver algum potencial de melhoria em algumas das unidades.

Apenas 3 unidades são classificadas como eficientes utilizando o pressuposto de CRS. Quando se permite a existência de VRS, o número de unidades classificadas como eficientes aumenta para 7. Isto significa que temos 4 unidades (DMUs 4, 7, 8 e 12), que são tecnicamente eficientes mas que operam com uma escala não óptima. Todas estas unidades apresentam rendimentos de escala crescentes (IRS), o que sugere que uma maior escala de operação levaria a melhores resultados.

Relativamente às unidades que são tecnicamente ineficientes, verifica-se que as DMUs 9 e 14 são aquelas que mais poderiam beneficiar com um aumento na sua dimensão de operação. Grande parte da sua ineficiência relaciona-se com a escala de operação. Pelo contrário, a unidade de distribuição 1 apresenta o menor índice em termos de eficiência técnica. Esta unidade poderia beneficiar principalmente de uma melhor utilização dos seus *inputs*, mantendo a sua dimensão de operação. Neste caso, os resultados do DEA poderiam ser utilizados como um ponto de partida para um exercício de avaliação formativa, com o objectivo de identificar as metas e processos para melhorar o desempenho. A unidade de distribuição 13 é a melhor referência de aprendizagem para a DMU 1.

A DMU 6 é a única que opera sob DRS, sugerindo que uma menor escala de operação levaria a um melhor rácio dos *outputs* sobre os *inputs*. Este resultado é corroborado pelo facto desta unidade de distribuição apresentar o maior comprimento de rede.

O facto da maioria das DMUs ser classificada pelo DEA em como operando em IRS foi considerado pelo grupo de peritos como muito relevante, uma vez que estes resultados reforçam a decisão tomada pela empresa de fundir as anteriores áreas de distribuição em regiões de distribuição maiores, passando de 14 áreas de rede para 6 regiões. Este facto também foi importante para validar os resultados obtidos e melhorar a aceitação dos modelos adoptados. Uma futura investigação passará por explorar até que ponto a fusão afectou a eficiência das unidades de distribuição.

É importante referir que três das novas regiões de distribuição criadas resultaram exclusivamente da fusão de DMUs que operavam sob IRS. É, portanto, expectável que venham a conseguir ganhos de eficiência por operarem a uma maior escala. Outra das novas regiões de distribuição resultou da fusão de duas áreas tecnicamente eficientes. Considerando que estas áreas já eram eficientes na conversão dos seus recursos em resultados, espera-se que venham a continuar a mostrar provas de um bom desempenho. As restantes duas novas regiões resultaram da fusão de áreas que operavam em diferentes tamanhos de escala e, portanto, será interessante examinar em que medida o desempenho das novas regiões será afectado pela fusão. Será certamente difícil avaliar a eficiência destas novas regiões através do DEA, por serem apenas seis DMUs, mas temos a intenção de realizar essa avaliação utilizando outras metodologias e uma estratégia de investigação de “estudo de caso”. Este objectivo também se justifica por se ter tornado aparente, em várias fases do trabalho, que os decisores recorrem

implicitamente à utilização de escalas globais em vez de escalas locais para comparar as áreas de distribuição. Dado que a teoria da decisão multicritério tem sido aplicada também com algum sucesso na avaliação do desempenho, e dado que os decisores envolvidos neste estudo também demonstraram interesse em fazer uma comparação com base em pesos fixos, pareceu-nos pertinente explorar o potencial desta técnica no contexto em análise.

4.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO

A utilização do método multicritério para complementar a análise de eficiência através do DEA foi inicialmente proposta por Belton e Vickers (1993). Quando este método é utilizado calcula-se um índice global de performance através da soma ponderada dos vários indicadores. Neste caso, ao contrário do método DEA, os decisores podem especificar explicitamente qual a importância relativa de cada um dos indicadores de forma a definir pesos fixos a aplicar a cada indicador e comuns a todas as DMUs.

Não obstante existirem vários procedimentos para auxiliar os decisores/analistas na especificação dos pesos a atribuir a cada indicador (ver, por exemplo, Keeney e Raiffa, 1976), esta não é uma tarefa fácil. No entanto, têm sido desenvolvidos nos últimos anos alguns *softwares* interactivos destinados a facilitar e a dar maior transparência a este processo.

As figuras 10 e 11 ilustram a aplicação do software VISA - *Visual Interactive Sensitivity Analysis*, desenvolvido na Universidade de Strathclyde (Belton e Vickers,

1990), para comparar o desempenho das 14 áreas de distribuição de energia eléctrica analisadas na presente investigação. Os critérios usados para análise são semelhantes aos *inputs* e *outputs* usados no Modelo 2 do DEA, ou seja, 3 *inputs* e 3 *outputs*. Como se pode verificar, o software começa por converter todos os indicadores para uma escala comum, com valores entre 0 e 100, utilizando funções de valor que reflectam as preferências dos decisores. Quando o *score* obtido por cada DMU em cada um dos indicadores considerados no modelo é ponderado pela respectiva importância relativa dos indicadores, obtém-se um *score* global de performance tal como é ilustrado na figura 11.

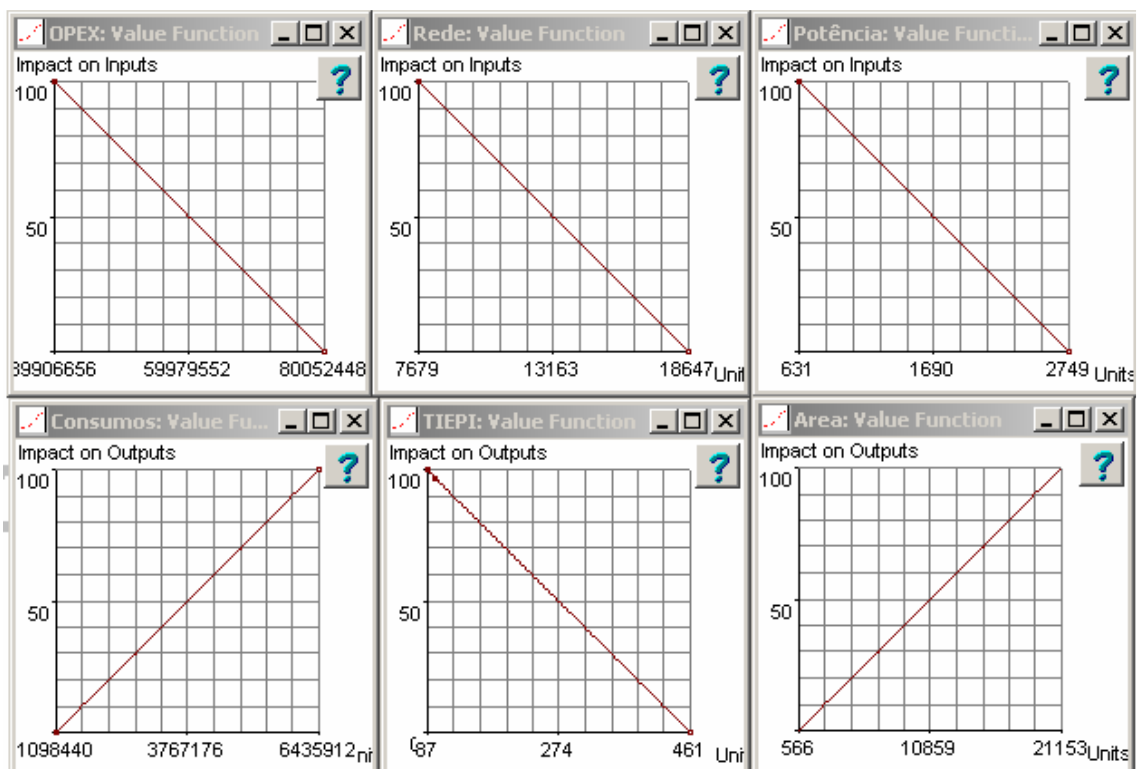


Figura 10 – Multicritério – Escalas de valor das variáveis

É importante mencionar que neste caso a escolha dos pesos é deixada totalmente ao critério do decisor, e vai depender das prioridades explícitas da organização. Neste

exemplo, a estrutura de pesos atribuída aos inputs e aos outputs, embora procure reflectir a opinião dos peritos que participaram na investigação, é apenas ilustrativa.

Como se pode verificar, utilizando o método multicritério é também relativamente fácil obter um *score* global de performance para cada uma das DMUs, o qual irá variar entre 0 e 100. Para além disso, o decisor pode interagir com o modelo para analisar a sensibilidade dos *scores* obtidos a alterações nos pesos das variáveis. Com base nestes *scores* é possível determinar quais as DMUs mais e menos eficientes, e eventualmente estabelecer *rankings* se esse for o objectivo dos decisores. No entanto, ao contrário do DEA, os modelos multicritério, particularmente se utilizados na forma aqui exemplificada, não identificam metas para as variáveis nem unidades de referência para aprendizagem. Não obstante estas limitações, o grupo de peritos que participou no projecto considerou que o uso do método multicritério poderá responder a algumas das preocupações manifestadas durante o projecto. Este facto sugere que investigações futuras poderiam explorar a complementaridade entre o DEA e o método multicritério em mais profundidade.

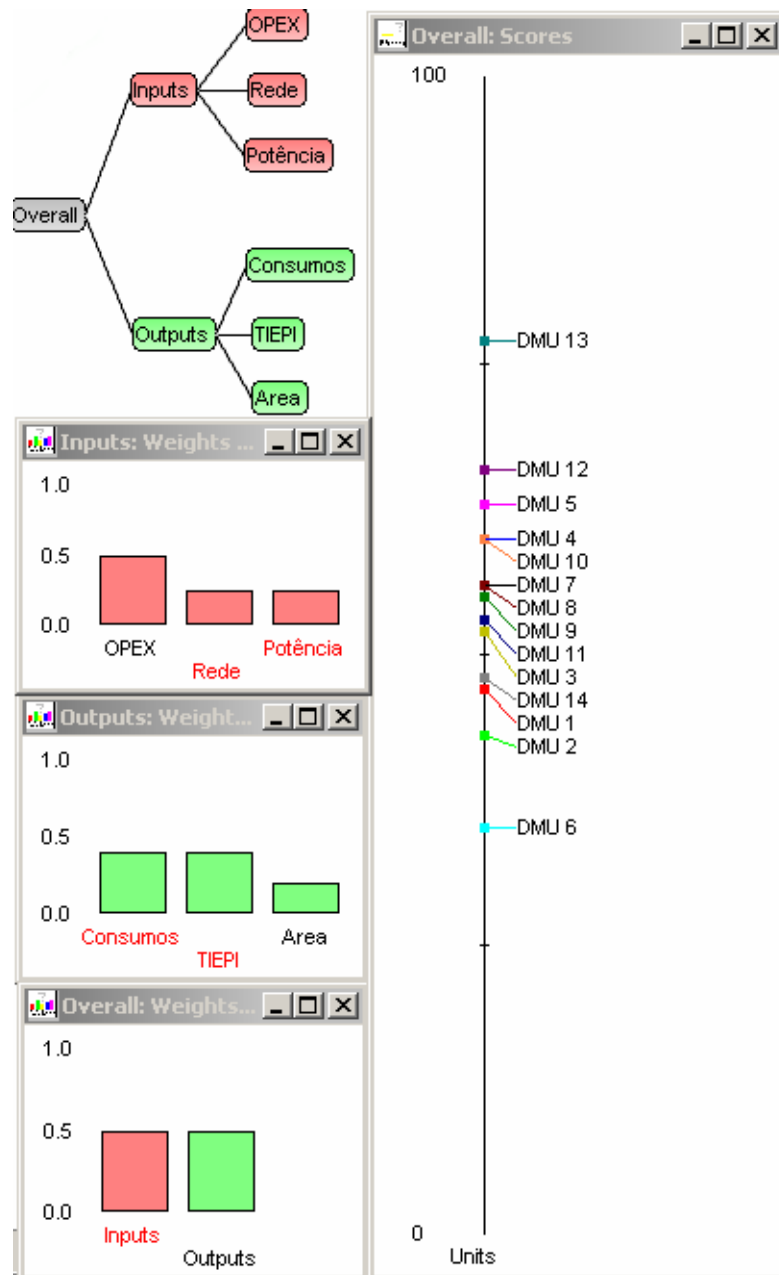


Figura 11 – Multicritério – Exemplo ilustrativo

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O DEA é uma das técnicas mais usadas para comparar o desempenho de unidades organizacionais e a sua utilização no sector da electricidade tem sido muito ampla. A revisão da literatura identificou, só na última década, cerca de 20 publicações em revistas científicas. No entanto, embora vários estudos tenham sido documentados, estes são predominantemente descritivos e classificativos. Nem sempre é claro a partir da literatura qual foi a participação dos *stakeholders* no processo, e o que os principais intervenientes aprenderam com o estudo.

O envolvimento de elementos da organização estudada e o processo interactivo usado foram os factores diferenciadores deste estudo, que permitiram fazer uma avaliação formativa. Por outras palavras, o estudo não se resumiu à obtenção de resultados academicamente válidos, mas converteu-se também numa ferramenta útil para a organização estudada.

Esta investigação teve dois objectivos centrais. O primeiro objectivo foi o de analisar a eficiência das áreas Portuguesas de distribuição de electricidade para os anos 2002 a 2006, bem como avaliar as mudanças de produtividade no sector durante esse período. O segundo objectivo desta pesquisa foi o de explorar o uso da técnica DEA de um modo formativo.

O primeiro objectivo traduziu-se num contributo relevante pois, após uma exaustiva revisão da literatura, não se encontraram estudos publicados sobre a eficiência do sector

eléctrico Português utilizando o DEA. Além disso, nos últimos 4 anos, o grupo responsável pela distribuição de electricidade em Portugal aplicou um exercício severo de corte de custos e executou um programa de melhoria da eficiência a fim de se transformar no operador de energia mais eficiente da Península Ibérica. Havia, portanto, um grande interesse em avaliar, por um lado, até que ponto esses esforços seriam reflectidos nos resultados da análise realizada no âmbito desta investigação e, por outro, em identificar e estudar as áreas de distribuição que tiveram maior sucesso na implementação deste programa.

Da análise realizada, concluiu-se que, embora existam algumas unidades eficientes no sector, existem outras áreas que poderiam beneficiar de um exercício de *benchmarking*, a fim de melhorar a sua eficiência. Em algumas unidades esse problema é essencialmente uma questão de eficiência técnica, sugerindo que todos os *inputs* poderiam ser reduzidos mantendo o mesmo nível de prestação de serviços. Noutras áreas existe evidência de ineficiências de escala, indicando que as unidades poderiam beneficiar se alterassem a sua escala de operação. Além disso, os índices de *Malmquist* calculados mostraram uma melhoria de 11% na produtividade de 2002 a 2006. Essa melhoria deveu-se a uma mudança nas fronteiras de eficiência, dando provas de inovação tecnológica neste sector. Não obstante, em média, a distância das DMUs relativamente à fronteira de eficiência aumentou ao longo do tempo, mostrando alguma deterioração do nível médio da eficiência. Isto sugere que algumas das áreas encontraram dificuldades em acompanhar as melhorias na tecnologia.

Apesar de termos assistido a uma alteração na estrutura organizativa do sector de distribuição eléctrica em Portugal durante esta investigação, acreditamos que estes

resultados podem fornecer informação útil para apoio à decisão, contribuindo igualmente para o desenvolvimento de programas que visem a melhoria da eficiência e da produtividade neste sector. Além disso, o uso de modelos de análise que incluam informação a respeito da qualidade do serviço, é de vital importância para assegurar que os ganhos de produtividade encontrados no sector possam também beneficiar os consumidores.

Para cumprir o segundo objectivo desta pesquisa, optou-se por fazer um “estudo de caso”, envolvendo alguns decisores influentes de uma unidade organizativa em estudo nas principais fases do processo, discutindo não só os modelos, mas também os resultados produzidos.

Este estudo de caso conheceu, no entanto, várias dificuldades. Em particular, o mesmo mostrou que, enquanto que é relativamente simples obter índices de produtividade/eficiência usando o DEA, é comparativamente mais difícil desenvolver modelos que sejam economicamente válidos e que produzam resultados aceitáveis. Seguidamente discutem-se algumas das principais questões levantadas durante esta investigação em termos da utilização do DEA com fins formativos.

A correcta especificação dos modelos DEA é uma questão que vários autores têm abordado e apontado como um requisito para a obtenção de resultados válidos. Esta questão é particularmente relevante quando não há consenso quanto ao conjunto adequado de *inputs* e *outputs* a usar. Nesse sentido, a participação dos decisores em todo o processo é essencial para desenvolver modelos com validade na prática. Nas análises de eficiência no sector de distribuição de electricidade, por exemplo, a literatura mostra que alguns autores incluíram a variável "Área de Serviço" como um *output* dos

seus modelos, enquanto outros não a consideraram. Quando confrontados com a escolha entre as duas opções, e considerando a dificuldade em estabelecer um *trade-off* de produção apropriado para esta variável, os decisores que participaram neste estudo, optaram por excluí-la. No entanto, os resultados que se obtiveram mostram que a decisão de incluir ou excluir a variável "Área de Serviço" é importante, porque tem um impacto sobre os resultados. Considerando a dificuldade em estabelecer um *trade-off* de produção apropriado entre variáveis discricionárias e não discricionárias, sempre que estas últimas sejam consideradas importantes para a análise da eficiência, o melhor protocolo neste contexto poderá passar pela realização de análises separadas entre unidades localizadas em áreas urbanas e rurais (se o número de DMUs o permitir), em vez de excluir a variável "Área de Serviço".

A correcta especificação dos modelos também é fundamental quando o analista, ou o facilitador do processo de desenvolvimento dos modelos DEA, tem de abordar algumas das dificuldades que podem surgir na aplicação deste método. Ainda que sejam sugeridos protocolos alternativos para solucionar estas dificuldades, a nossa análise demonstrou que alguns podem não ser aceitáveis para os decisores. Considerando que a aceitação dos resultados tende a ser um passo importante para a implementação, e não existindo um protocolo universal, é fundamental para o analista discutir as opções com os decisores. Além disso, embora diferentes protocolos possam ser adoptados, é importante ter em mente que estes podem levar a resultados diferentes, não só em termos das DMUs identificadas como eficientes, mas também em termos dos alvos fixados para as unidades ineficientes. É portanto, recomendada uma análise exaustiva da sensibilidade dos resultados a diferentes protocolos.

A questão das metas sugeridas pela análise DEA para que DMUs ineficientes se tornem eficientes merece também algumas considerações. É razoável supor que, na realização de estudos de eficiência, haverá algumas variáveis sobre as quais as DMUs exercem algum grau de controlo. Estas serão consideradas variáveis discricionárias. Contudo, embora este controlo exista, o mesmo pode ser limitado. Esta realidade impõe algumas restrições no que diz respeito à exequibilidade em alcançar algumas das metas sugeridas pela análise DEA, pois algumas das metas poderão não ser realisticamente alcançáveis. Embora existam procedimentos na literatura do DEA para abordar esta questão (Golany e Roll, 1993), a execução destes procedimentos na prática não é uma tarefa simples, até porque os próprios decisores apresentam alguma relutância em explicitar qual o grau de controlo que existe sobre uma determinada variável. Desta forma, é recomendável a utilização de técnicas que complementem o DEA na obtenção deste tipo de informação.

Outra preocupação prendeu-se com a selecção de procedimentos que permitissem desenvolver as restrições aos pesos. Este estudo corrobora alguma evidência de que a total flexibilidade na escolha dos pesos, pode levar a resultados com pouca aplicabilidade. Como tem sido amplamente sugerido, este problema pode ser resolvido através da introdução de restrições aos pesos. A definição dessas restrições, nomeadamente se implicar a especificação de *trade-offs* de produção pode, contudo, revelar-se uma tarefa difícil. Embora existam várias abordagens para definir as restrições aos pesos, o uso de *trade-offs* é a única que permite que a eficiência mantenha uma interpretação radial. Em todo o caso, a especificação de *trade-offs* pode ser uma tarefa difícil. Os decisores envolvidos neste estudo mostraram uma resistência considerável no desenvolvimento de *trade-offs* entre variáveis. A literatura sobre a teoria da decisão multicritério é muito rica em matéria de procedimentos para elicitar as

preferências dos decisores. Estudos futuros de investigação poderão explorar até que ponto alguns desses procedimentos podem ser utilizados no contexto do DEA para expressar restrições de peso que sejam economicamente válidas e que derivem das preferências dos decisores.

Em termos globais, apesar dos desafios encontrados no desenvolvimento dos modelos, os participantes reconheceram que o último modelo de DEA proposto (Modelo 3) representa um sistema mais apropriado para acompanhar o desempenho das diversas unidades de distribuição de energia eléctrica do que o uso individual de indicadores de performance tal como era utilizado pela empresa. Não obstante a empresa estudada ter sido objecto de alterações em termos organizativos, os resultados obtidos foram considerados úteis para efeitos de aprendizagem e vieram corroborar as decisões tomadas no que respeita às fusões implementadas. É importante realçar que após a conclusão desta investigação, a EDP deu início a outro estudo onde o DEA é também usado para comparar a eficiência das 25 áreas operacionais da EDP Distribuição. É objectivo deste estudo não só fazer uma comparação da eficiência das várias áreas, mas também identificar áreas modelo que possam servir de referência para aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ajodhia, V., P. Konstantin e G. C. Scarsi, “Quality, Regulation and Benchmarking – An Application to Electricity Distribution Networks”, *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, vol. 29, pp.107–120, 2004.

Agrell, P. J., P. Bogetoft e J. Tind, “DEA and Dynamic Yardstick Competition in Scandinavian Electricity Distribution”, *Journal of Productivity Analysis*, vol. 23, pp.173–201, 2005.

Allen R., A. D. Athanassopoulos, R. G. Dyson e E. Thanassoulis, “Weight restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions”, *Annals of Operations Research*, 73, pp. 13-34, 1997.

Athanassopoulos, A. D., N. Lambroukos e L. M. Seiford, "Data envelopment scenario analysis for setting targets to electricity generating plants", *European Journal of Operational Research*, 115(3), pp 413-428, 1999.

Avkiran, N. K., "An application reference for data envelopment analysis in branch banking: helping the novice researcher”, *International Journal of Bank Marketing*, 17 (5), pp 206-220, 1999.

- Bagdadioglu, N., C.W. Price e T.G. Weyman-Jones, “Efficiency and ownership in electricity distribution: A nonparametric model of the Turkish experience,” *Energy Economics*, vol. 18, pp. 1–23, 1996.
- Banker, R. D., A. Charnes e W. W. Cooper, “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, vol. 30, pp. 1078-1092, 1984.
- Banker, R. D. e R. C. Morey, “Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs”, *Operations Research*, vol. 34, pp. 513–521, 1986.
- Belton, V. e S. P. Vickers, “Demystifying DEA – A Visual Interactive Approach Based on Multiple Criteria Analysis”, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 44, no. 9, pp. 883–896, 1993.
- Belton, V. e S.P. Vickers, “Use of a Simple Multi-Attribute Value Function Incorporating Visual Interactive Sensitivity Analysis for Multiple Criteria Decision Making”, In Bana e Costa, C.A. (Ed.), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 319-334, 1990.
- Bjorndal, E. e M. Bjorndal, “Regulation of Electricity Distribution Companies – DEA with Separable Costs”, Department of Finance and Management Science, The Norwegian School of Economics and Business Administration, Working Paper, 2004.

Blázquez, L. e E. Grifell-Tatjé, "Productivity and Spanish regulation of electricity distribution", Presented at: (7th EWEPA) Seventh European workshop on efficiency and productivity analysis [in Regulation and efficiency], Oviedo, Spain, 9/25 to 9/27, 2001.

Boussofiane, A., R. G. Dyson e E. Thanassoulis, "Applied data envelopment analysis", *European Journal of Operational Research*, vol. 52, pp: 1-15, 1991.

Caves, D. W., L. R. Christensen e W. E. Diewert, "The Economic Theory of Index Numbers and the Measureemnt of Input, Output, and Productivity", *Econometrica*, vol. 50, November, pp. 1393-414, 1982.

Charnes, A., W. W. Cooper, D. Divine, T. W. Ruefli e D. Thomas, "Comparisons of DEA and existing ratio and regression systems for effecting efficiency evaluations of regulated electric cooperatives in Texas," *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, vol. 5, pp. 187–210, 1989.

Charnes, A., W. W. Cooper e E. L. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, vol. 26, nº 6, pp 429-444, 1978.

Chen, T., "An assessment of technical efficiency and cross-efficiency in Taiwan's electricity distribution sector", *European Journal of Operational Research*, vol. 137, pp. 421-433, 2002.

Chien, C., F. Lo e J.T. Lin, “Using DEA to Measure the Relative Efficiency of the Service Center and Improve Operation Efficiency Through Reorganization”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 18, no. 1, pp. 366-373, February, 2003.

Cooper, W. W., L. Seiford e K. Tone, Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 2000.

Cooper, W. W., L. Seiford, K. Tone, R.M. Thrall e J. Zhu, “Sensitivity and Stability Analysis in DEA: Some Recent Developments”, Journal of Productivity Analysis, 15, (3), pp.217-246, 2001.

Cooper, W. W., L. Seiford e J. Zhu, Handbook on data envelopment analysis, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 2004.

Cullmann, A. e C. V. Hirschhausen, “From Transition to Competition – Dynamic Efficiency Analysis of Polish Electricity Distribution Companies”, DIW Berlin and Dresden University of Technology, 2006.

Dyson, R. G., R. Allen, A.S. Camanho, V. V. Podinovski, C.S. Sarrico e E.A. Shale, “Pitfalls and protocols in DEA”, European Journal of Operational Research, vol. 132, pp. 245-259, 2001.

- Edwardsen, D. F. e F. R. Forsund, "The Nordic Electricity Market", International Benchmarking of Electricity Distribution Utilities, The 23^o Arne Ryde Symposium, Sweden, 2003.
- Färe, R., S. Grosskopf e P. Roos, "Malmquist Productivity Indexes: A Survey of Theory and Practice". In R. Färe, S. Grosskopf, and R. R. Russell (eds), *Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist*, Boston: Kluwer Academic Publishers, pp.127-190, 1998.
- Färe, R., S. Grosskopf e J. Logan, "The relative efficiency of Illinois electric utilities", *Resources and Energy*, vol. 5, n^o 4, pp. 349-367, 1983.
- Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren e P. Roos, "Productivity change in Swedish hospitals: a Malmquist output index approach". In A. Charnes, W. W. Cooper, A. Y. Lewin and M. L. Seiford (eds), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*, Boston: Kluwer Academic Publishers, pp.253-272, 1989.
- Färe, R., S. Grosskopf e C. Pasurka, "Effects on relative efficiency in electric-power generation environmental controls", *Resources and Energy* 8, pp 167-184, 1986.
- Färe, R., S. Grosskopf e J. Logan, "The relative performance of publically-owned and privately-owned electric utilities", *Journal of Public Economics*, vol. 26, no. 1, pp 89-106, 1985a.

- Färe, R., S. Grosskopf, J. Logan e C. A. K. Lovell, "Measuring efficiency in production: With an application to electric utilities", in Färe, R., S. Grosskopf e C. A. K. Lovell (Eds), *The measurement of efficiency of production*, Kluwer-Nijhoff Publishing Co., Boston, pp 185-214, 1985b.
- Farrell, M. J., "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society* 120, pp 253-290, Part III, 1957.
- Farsi, M. e M. Filippini, "A Benchmarking Analysis of Electricity Distribution Utilities in Switzerland", CEPE Working Paper nº 43, 2005.
- Førsund, F. R. e S. C. Kittelsen, "Productivity development of Norwegian electricity distribution utilities," *Resource and Energy Economics*, vol. 20, pp. 207–224, 1998.
- Giannakis, D., T. Jamasb e M. Pollitt, "Benchmarking and incentive regulation of quality of service: an application to the UK electricity distribution networks", *Energy Policy*, vol. 33, pp. 2256–2271, 2005.
- Golany B. e Y. Roll, "Some extensions of techniques to handle non-discretionary factors in data envelopment analysis", *The Journal of Productivity Analysis*, vol. 4 (4), pp. 419–432, 1993.

- Hattori T., T. Jamasb e M. Pollitt, “Electricity Distribution in the UK and Japan: A Comparative Efficiency Analysis 1985-1998”, *The Energy Journal*, vol. 26, no. 2, pp. 23-47, 2005.
- Hirschhausen C, A. Cullmann e A. Kappeler, “Efficiency Analysis of German Electricity Distribution Utilities – Non-Parametric and Parametric Tests”, *Conference of the European Association for Research in Industrial Economics*, Berlim, September 2004. (*Applied Economics*, vol. 38, no. 21, pp. 2553-2566 (14), 2006).
- Hjalmarsson, L. e A. Veiderpass, "Efficiency and ownership in Swedish electricity retail distribution", *The Journal of Productivity Analysis*, vol. 3, pp. 7-23, 1992.
- Jamasb T. e M. Pollitt, “International benchmarking and regulation: an application to European electricity distribution utilities”, *Energy Policy*, vol. 31, pp. 1609–1622, 2003.
- Karpa, W., “Regulation and Performance of Electricity Distribution Utilities: The Case of Poland”, 2005.
- Keeney, R.L. e H. Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives*. John Wiley & Sons, New York, 1976.

- Korhonen, P. e M. J. Syrjänen, “Evaluation of Cost Efficiency in Finnish Electricity Distribution”, *Annals of Operations Research*, vol. 121, pp. 105–122, 2003.
- Kumbhakar, S. C. e L. Hjalmarsson, “Relative performance of public and private ownership under yardstick competition: electricity retail distribution”, *European Economic Review*, vol. 42, pp. 97-122, 1998.
- Lo, F. Y., C. F. Chien e J.T. Lin, “A DEA study to evaluate the relative efficiency and investigate the district reorganization of the Taiwan power company,” *IEEE Transactions on Power Systems.*, vol. 16, pp. 170–178, Feb. 2001.
- Malmquist, S., “Index Numbers and Inference Surfaces”, *Trabajos de Estadística*, vol. 4, pp. 209-242, 1953.
- Miliotis, P. A., “Data envelopment analysis applied to electricity distribution districts”, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 43, no. 5, pp. 549–555, 1992.
- Mota, R. L., “Comparing Brazil and USA Electricity Distribution Performance: What was the Impact of Privatisation?”, *Cambridge Working Papers in Economics* 0423, 2004.
- Muñiz, M. A., “Separating managerial inefficiency and external conditions in data envelopment analysis”, *European Journal of Operational Research*, 143, 625-643, 2002.

- Pacudan, R. e E. de Guzman, “Impact of energy efficiency policy to productive efficiency of electricity distribution industry in the Philippines”, *Energy Economics*, vol. 24, pp. 41–54, 2002.
- Pahwa, A., X. Feng e D. Lubkerman, “Performance Evaluation of Electric Distribution Utilities Based on Data Envelopment Analysis”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 400-405, August, 2002.
- Pardina, M. A., M. A. Rossi e C. A Ruzzier, “Fronteras de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica: la experiencia sudamericana”. *Anais do XX Encontro Brasileiro de Econometria II*, pp. 381–400, 1998.
- Park, S. e J. B. Lesourd, "The efficiency of conventional fuel power plants in South Korea: A comparison of parametric and non-parametric approaches", *International Journal of Production Economics* 63(1), pp 59-67, 2000.
- Pedraja-Chaparro, F., J. Salinas-Jiménez e P.C. Smith, “On the quality of the data envelopment analysis model”, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 60, pp. 636-644, 1999.
- Podinovski V. V., “Production trade-offs and weight restrictions in data envelopment analysis”, *Journal of the Operational Research Society*, 55, pp. 1311-1322, 2004.
- Podinovski V. V., “The explicit role of weight bounds in models of data envelopment analysis”, *Journal of the Operational Research Society*, 56, pp. 1408-1418, 2005.

- Podinovski V. V., “Improving data envelopment analysis by the use of production trade-offs”, *Journal of the Operational Research Society*, 58, pp. 1261-1270, 2006.
- Pollitt, M., “Ownership and Performance in Electric Utilities: the International Evidence on Privatisation and Efficiency”, Oxford University Press, Oxford, 1995.
- Pombo C. e R. Taborda, “Performance and efficiency in Colombia’s power distribution system: Effects of the 1994 reform”, *Energy Economics*, vol. 28, pp. 339–369, 2006.
- Resende, M., “Relative efficiency measurement and prospects for yardstick competition in Brazilian electricity distribution”, *Energy Policy*, vol. 30, pp. 637–647, 2002.
- Sanhueza, R., H. Rudnick e H. Lagunas, “DEA Efficiency for the Determination of the Electric Power Distribution Added Value”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 919-925, May, 2004.
- Sueyoshi, T. e M. Goto, "Slack adjusted DEA for time series analysis: Performance measurement of Japanese electric power generation industry in 1984-1993", *European Journal of Operational Research* 133(2), pp 232-259, 2001.
- Thanassoulis, E., “Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis”, Kluwer Academic Press, 2001.

- Tilley, B. e T. Weyman-Jones, "Productivity Growth and Efficiency Change in Electricity Distribution - A New Era for Energy? Price signals, industry structure and environment", The 1999 British Institute of Energy Economics Conference, St. John's College Oxford, 1999.
- Tone, K., "Malmquist Productivity Index: Efficiency Change Over Time". In, W.W. Cooper, L.M. Seiford and J. Zhu (eds.), Handbook on Data Envelopment Analysis. London: Kluwer Academic Publishers, pp. 203-227, 2004.
- Weyman-Jones, T. G., "Problems of yardstick regulation in electricity distribution", In: Bishop, M., Kay, J., Mayer, C. (Eds.), The Regulatory Challenge. Oxford University Press, Oxford, pp. 423-443, 1995.
- Weyman-Jones, T. G., "Productive efficiency in a regulated industry: the area electricity boards of England and Wales", Energy Economics, April, pp.116-122, 1991.
- Yang, C. e W. M. Lu, "Assessing the Performance and Finding the Venchmarks of the Electricity Distribution Districts of Taiwan Power Company", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, nº 2, pp. 853-861, May, 2006.
- Zhang, Y. e R. Bartels, "The effect of sample size on the mean efficiency in DEA with an application to electricity distribution in Australia, Sweden and New Zealand", The Journal of Productivity Analysis, vol. 9, nº 3, pp 205-232, 1998.