

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA OU MANUTENÇÃO CORRETIVA
EM LINHAS AÉREAS DE MÉDIA TENSÃO?**

**UTILIZAÇÃO DO DATA ENVELOPMENT ANALYSIS COMO
AUXILIAR DE GESTÃO DOS ATIVOS TÉCNICOS DE
MANUTENÇÃO.**

MESTRADO EM GESTÃO EMPRESARIAL

JOÃO FRANCISCO CANÁRIO SEQUEIRA

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE ECONOMIA

FARO

2011

JOÃO FRANCISCO CANÁRIO SEQUEIRA

FACULDADE DE ECONOMIA

Orientadores:

Professora Doutora Carla Alexandra da Encarnação Filipe Amado

Professor Doutor Sérgio Pereira dos Santos

2011

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA OU MANUTENÇÃO CORRETIVA
EM LINHAS AÉREAS DE MÉDIA TENSÃO?**

**UTILIZAÇÃO DO DATA ENVELOPMENT ANALYSIS COMO
AUXILIAR DE GESTÃO DOS ATIVOS TÉCNICOS DE
MANUTENÇÃO**

Júri:

Presidente:

Doutor Efigénio da Luz Rebelo

Vogais:

Doutor Marco Paulo dos Santos Carrasco

Doutora Carla Alexandra da Encarnação Filipe Amado

Doutor Sérgio Pereira dos Santos

Doutor António Jorge Peres Matias

RESUMO

O uso de Data Envelopment Analysis (DEA) no setor de distribuição de energia elétrica tem dado origem à publicação de vários artigos científicos. No geral, estes artigos focam-se na comparação da eficiência das empresas de distribuição de eletricidade. Na generalidade dos artigos, o tratamento da informação tem sido predominantemente descritivo e classificatório, sem focar no processo de transformação. Em contraste, o trabalho que se apresenta aqui pretende mostrar as potencialidades do DEA na análise de variáveis do processo de transformação e procura explorar o seu potencial para a identificação dos programas e intervenções que contribuem para a melhoria efetiva no processo de distribuição de eletricidade. É nossa convicção que as avaliações de natureza formativa, com fins de aprendizagem, são mais eficazes do que os estudos sumativos porque contribuem para uma melhor compreensão das estruturas e processos, sendo portanto mais adequadas para contribuir para a melhoria do desempenho.

Neste trabalho, apresenta-se uma questão importante no contexto da análise DEA: a de investigar, se as diferenças de eficiência são devidas a um programa específico de gestão ou às características de conceção. Para o efeito, o estudo recorre a dois métodos diferentes para realizar este tipo de análise. Em primeiro lugar, aplicamos a estatística de rank de Mann-Whitney aos scores do DEA, a fim de avaliar a significância estatística das diferenças observadas entre um programa de tratamento e o programa de controlo. Em segundo lugar, procedemos a uma análise dinâmica com o Índice de Produtividade de Malmquist, a fim de estudar o impacto da introdução de uma nova tecnologia num grupo de unidades. O estudo de caso desenvolvido centra-se na avaliação do desempenho de linhas de média tensão afetas a uma das regiões de serviço de uma empresa de distribuição de energia elétrica, regulada pelo Sistema Público de Distribuição de Energia em Portugal (ERSE). Os resultados do estudo de caso mostram que a aplicação do DEA tem um grande potencial para contribuir para a melhoria dos processos e deve ser explorado noutros contextos.

Palavras-chave: Data Envelopment Analysis, distribuição de energia elétrica, melhoria de processos, alternativas de conceção.

ABSTRACT

The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in the setor of electricity distribution has led to the publication of several articles in scientific journals. In general, these articles focused on the comparison of the efficiency of the electricity distribution companies. In most of these articles, the objective has been predominantly descriptive and classificatory, without any attempt to focus on the transformation process. In contrast, the work that is presented here aims to explore the potential of DEA to contribute to the design of effective process improvement interventions within a distribution utility. We argue that evaluations of a formative nature, with learning objective, 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.

In this paper, we discuss an important issue in the context of DEA analysis: to investigate whether differences in efficiency are due to a specific program management or design feature. To this end, the study uses two different methods to accomplish this type of analysis. Firstly, we apply Mann-Whitney rank statistics to the scores obtained from DEA in order to evaluate the statistical significance of the differences observed between an intervention programme and its control group programme. Secondly, we undertake dynamic analysis with the Malmquist Productivity Index in order to study the impact of the introduction of a new technology on a group of units. Our case study focuses on the performance evaluation of medium-voltage power lines belonging to one of the service areas in the Public Electricity Distribution System in Portugal. The results from our case study show that the application of DEA for process improvement interventions has great potential and should be explored in other contexts.

Keywords - Data envelopment analysis, power distribution, process improvement, design alternatives.

AGRADECIMENTOS

Pelo presente, quero agradecer a todas as pessoas e entidades que contribuíram direta ou indiretamente 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 ao longo de todo o trabalho.
- À EDP Distribuição e à DMN – Direção de Manutenção pela oportunidade que me proporcionaram.
- Aos colegas Ana Bela Pontes, Joaquim Sousa, Joaquim Rosado, Nelson Rodrigues, Fernando Rodrigues e aos demais colegas de profissão, pelos debates, discussão sobre os modelos e análise das informações produzidas.
- À minha esposa Adília, e aos meus filhos, Marta e João, pelo amor, carinho e pelos incentivos que me deram para terminar esta tarefa.
- Aos meus pais, pelas suas palavras de esperança e conforto.
- Aos meus amigos e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o sucesso deste estudo.

A todos, o meu Obrigado.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| AGRADECIMENTOS | 5 |
| ÍNDICE | 6 |
| ÍNDICE DE TABELAS | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| GLOSSÁRIO | 10 |
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. CONTEXTO DE ESTUDO | 18 |
| 2.1. Distribuição de energia elétrica em média tensão - Linhas aéreas de média tensão - Sistemas de Distribuição e Eficiência de Operação | 18 |
| 3. METODOLOGIA | 20 |
| 3.1. Utilização do DEA - Análise Envoltória de Dados, para avaliar o impacto de políticas e alternativas de projeto. | 20 |
| 3.1.1. Metodologia de Brockett e Golany – Estimação da eficiência de programação. | 22 |
| 3.2. O Índice de Produtividade de Malmquist | 24 |
| 4. DADOS E RESULTADOS | 27 |
| 4.1. Utilização do DEA para avaliar o impacto de design e alternativas de intervenção | 27 |
| 4.2. Construção do modelo de análise (Orientação input, pressuposto VRS e restrições aos pesos flexíveis) | 32 |
| 4.2.1. A inclusão de restrições aos pesos das variáveis | 36 |
| 4.3. 1º Estudo - Análise DEA das 79 DMUs em 2008 | 38 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 4.3.1. | 1ª Segmentação em 2008 – 31 DMUs afetas às zonas A e B | 41 |
| 4.3.2. | 2ª Segmentação em 2008 – 48 DMUs afetas à zona C | 44 |
| 4.4. | 2º Estudo – Análise comparativa das DMUs em 2006, 2007 e 2008. | 48 |
| 4.5. | 3º Estudo – Análise de produtividade das DMUs 2007 e 2008. | 55 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 59 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 61 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela I - Valores reais de 2008 | 38 |
| Tabela II - Descritivo estatístico das DMUs em 2008..... | 39 |
| Tabela III - Coeficientes de Correlação de Pearson (2008)..... | 40 |
| Tabela IV - DMUs agrupadas por Zona (A + B) em 2008 | 41 |
| Tabela V - Descritivo estatístico das DMUs – Zona (A + B) em 2008 | 41 |
| Tabela VI - Eficiência das DMUs agrupadas por Zona (A + B)..... | 43 |
| Tabela VII - Pesos virtuais inputs e outputs - DMUs agrupadas por Zona (A + B) | 43 |
| Tabela VIII - DMUs agrupadas Zona C | 44 |
| Tabela IX - Descritivo estatístico das DMUs – Zona C em 2008..... | 45 |
| Tabela X–Eficiência das DMUs agrupadas por Índice Zona C..... | 46 |
| Tabela XI- Pesos virtuais inputs/outputs - DMUs agrupadas por Índice Zona C | 46 |
| Tabela XII- DMUs com eficiência inferior a 50% nas Zona A+B | 47 |
| Tabela XIII - Resumo das estatísticas das variáveis para as 73 DMUs em 2006..... | 49 |
| Tabela XIV – Resumo das estatísticas das variáveis para os 73 DMUs em 2007..... | 49 |
| Tabela XV – Resumo das estatísticas das variáveis para os 73 DMUs em 2008..... | 50 |
| Tabela XVI - Resumo das estatísticas dos resultados de eficiência para as 73 DMUs (anos de 2006 a 2008). | 50 |
| Tabela XVII - Síntese estatística da eficiência de 57 DMUs programáticas (Etapa III).. | 52 |
| Tabela XVIII - Síntese estatística da eficiência de programação de 42 DMUs (Etapa de programação III) | 54 |
| Tabela XIX - Resumo estatístico dos resultados de produtividade de 73 DMUs (anos: 2007-2008). | 56 |
| Tabela XX - Resumo estatístico dos resultados de produtividade para as 27 DMUs que ficaram sem equipamento OCR em 2008..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Tabela XXI - Resumo estatístico dos resultados de produtividade para as 13 DMUs que beneficiaram da instalação de OCR em 2008 | 57 |
| Tabela XXII - Resumo estatístico dos resultados de produtividade para as 17 DMUs que já tinham equipamentos de OCR em 2007 e que os mantiveram em 2008 | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1a - Programa A parece não ter impacto significativo sobre o nível de eficiência | 23 |
| Figura 1b - Programa B parece ter um impacto significativo sobre o nível de eficiência | 24 |
| Figura 2a – Linhas com IC=(A, B ou C) podem alimentar uma Zona A(ERSE) | 30 |
| Figura 2b – Linhas com IC=(A, B ou C) podem alimentar uma Zona B(ERSE) | 31 |
| Figura 2c - Linhas com IC=(A, B ou C) podem alimentar uma Zona C(ERSE) | 31 |

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*

PPS – *Production Possibility Set*

Regulamentares

ERSE – Entidade Reguladora Serviço Energético

Pelo Despacho número 52555/2006, de 8 de março foi publicado o Regulamento da Qualidade de Serviço para o Setor Energético, que em função dos Artigos números 8 e 14 define as Zonas em função do número de Clientes e tempo máximo de interrupção anual aos mesmos. As Zonas e tempos máximos de interrupção anual são definidas por:

- Zona A, Capitais de distrito e localidades com mais de 25000 clientes;
- Zona B, localidades com mais de 2500 e menos de 25000 clientes;
- Zona C, locais com menos de 2500 clientes.

Em caso de serem excedidos os prazos de reposição de serviço definidos pela Entidade Reguladora (ERSE) ocorrerão de forma automática, compensações monetárias aos clientes afetados.

Termos em Manutenção

Termos Gerais, Normas e Definições referentes a Manutenção

(Alguns termos gerais definidos pela NP/EN 13300 /2007)

Manutenção - Combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida.

Gestão de Manutenção – Todas as atividades de gestão que determinam os objetivos,

a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção e que os implementam por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos.

Objetivos da Manutenção – Metas fixadas e aceites para as atividades de manutenção.

(Nota: Estas metas poderão incluir, por exemplo, a disponibilidade, os custos, a qualidade do produto, a preservação do ambiente, a segurança, etc.).

Disponibilidade – Aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, num dado instante ou durante um dado intervalo de tempo, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários recursos externos.

(Nota. Esta aptidão depende da combinação da fiabilidade, da manutibilidade e da adequabilidade da manutenção).

Definições

Os Ativos Técnicos de uma Empresa de Distribuição estão agrupados por grupos operacionais, os quais são ordenados por níveis de importância em função dos prejuízos causados (materiais, clientes, etc.) em caso de falha de serviço, podendo ser reduzidos em termos de complexidade até à formação de um conjunto mais simples. Como exemplos, os seguintes:

Linha de Alta Tensão: - Ativo que garante o transporte de energia em Alta Tensão entre Subestações da Distribuição/Posto de Seccionamento ou de alimentação de Subestação de Cliente (s) de Alta Tensão.

Subestação: - **Ativo** que transforma Alta Tensão em Média Tensão que é disponibilizada para transporte em Média Tensão.

Linha de Média Tensão: - Ativo que garante o transporte de energia em Média Tensão desde a Subestação até aos Postos de seccionamento/Transformação de Distribuição Pública ou de Clientes particulares.

Posto de Transformação: - Ativo que transforma a energia de Média Tensão em

energia de Baixa Tensão, disponível nas saídas do Quadro de Baixa Tensão. A unidade está situada na proximidade dos Clientes de Baixa Tensão (bairro, rua, urbanização, edifício, etc.).

Linha de Baixa Tensão: - Ativo que garante o transporte de energia em Baixa Tensão desde o posto de transformação até aos Clientes.

Equipas de Contagem de Energia: - Conjunto de equipamentos de Proteção e Medida de acordo com a tensão de serviço, destinados a medir a energia utilizada pelo Cliente (kWh).

Índice de Criticidade (IC) da linha de média tensão: - Índice crítico definido para a linha de média tensão em função da soma de 5 critérios C_1 , C_2 , C_3 , C_4 e C_5 e que permite um escalonamento ou nível de importância da linha em A, B ou C, sendo o A o mais importante. Assim, o IC será definido à custa de:

- C_1 – Potência instalada na saída de Média Tensão
- C_2 – Reserva ativa
- C_3 – Fatores ambientais
- C_4 – Exigência em Qualidade de Serviço (de acordo com a ERSE)
- C_5 – Importância dos clientes.

Manutenção Preventiva de linhas Aéreas de Média Tensão são ações de manutenção efetuadas a intervalos de tempo pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos, com a finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento e desenvolvem-se de acordo com os diferentes *Índices de Criticidade*. Estas ações poderão ser sistemáticas (MPS – inspeção técnica pelo solo, termografia ou outra, programadas no tempo) ou motivadas pela condição do ativo (MPC). A MPC poderá acontecer na sequência de análise de inconformidades detetadas em MPS, de perturbações com causa(s) localizada(s) na Rede de Média Tensão, de origem interna ou externa que possam comprometer as condições de Exploração na Instalação e de Segurança de Pessoas e Bens.

Neste grupo de ações de MPC poderão ser incluídas eventuais ações de manutenção preditivas, ou sejam aquelas que são efetuadas de acordo com as previsões

extrapoladas da análise e da avaliação de parâmetros significativos da degradação da linha de Média Tensão.

Manutenção Corretiva é uma ação de manutenção efetuada após a deteção da avaria e destinada a repor a linha de Média Tensão num estado em que pode realizar a função requerida. Esta ação é na generalidade dos casos uma reparação provisória, condicionada ao tempo máximo de interrupção no fornecimento de energia previsto para as zonas tipo A, B ou C, que a ser ultrapassado origina o pagamento automático de indemnizações aos Clientes, conforme o previsto pela Entidade Reguladora (ERSE). A reparação definitiva da linha deverá ocorrer após análise efetuada pela Equipa da Manutenção sobre a condição ou condições das fragilidades que motivaram a avaria, que será considerada em ação de manutenção preventiva condicionada (MPC).

1. INTRODUÇÃO

O setor da energia elétrica passou em todo o mundo por grandes reformas nas últimas duas décadas, na tentativa de promover ganhos de eficiência e produtividade. Isso tem sido particularmente evidente na distribuição de eletricidade. O fornecimento de eletricidade é, em muitos países, considerado um serviço público, o qual tem que ser prestado com padrões adequados de qualidade, de uma forma eficiente e produtiva. Embora a eficiência e a produtividade na produção de eletricidade sejam, em grande medida, determinadas por fatores tecnológicos, no setor de distribuição de eletricidade são determinadas principalmente pela gestão dos processos e pela utilização eficiente do trabalho (Kumbhakar e Hjalmarsson, 1998). Além disso, é importante ter em mente que a distribuição retalhista de energia elétrica tem uma relação muito mais estreita com os clientes do que a produção de energia elétrica. Portanto, uma avaliação adequada do desempenho das concessionárias de distribuição e dos processos utilizados para gerir os seus sistemas pode desempenhar um papel importante para assegurar uma utilização eficiente e eficaz dos seus recursos e assim, ajudar na prestação de serviços de alta qualidade aos clientes.

Um exercício de *benchmarking* permite às empresas de distribuição comparar-se com as melhores práticas observadas no setor e, em seguida, desenvolver os seus planos de ação para melhorar o seu desempenho.

O Data Envelopment Analysis (DEA) é uma técnica não paramétrica que utiliza 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 Unit* – DMU), incluindo bancos, hospitais, universidades, tribunais de justiça e também empresas do setor elétrico. No entanto, embora haja vários estudos neste contexto focados nas empresas de um só país e de comparação de vários países, esses estudos tendem a ser avaliações sumativas em vez de avaliações formativas (Santos et al. 2010). Ou seja, o objetivo destes estudos tem sido predominantemente descritivo e classificatório. Além disso, a aplicação do DEA para a avaliação de ativos técnicos e dos processos no setor elétrico ou em qualquer outro setor não tem sido

frequente, podendo portanto dizer-se que o presente estudo apresenta aspetos inovadores na aplicação do DEA. Este estudo discute o desenvolvimento de um modelo DEA interativo de avaliação formativa, destacando algumas das dificuldades na prática, na utilização do DEA, e oferece algumas orientações quanto à aplicação do DEA para fins formativos. Tanto quanto é do nosso conhecimento, não há estudos publicados sobre o uso do DEA para analisar a eficiência de ativos técnicos de manutenção nem para explorar a suas mudanças de produtividade ao longo do tempo, com vista à identificação dos programas e intervenções que mais podem contribuir para a melhoria do desempenho.

A avaliação que é discutida neste trabalho é predominantemente formativa, caracterizada por um esforço para envolver os tomadores de decisão e fornecer informações úteis para a gestão organizacional e sua melhoria. O seu objetivo é a promoção da aprendizagem e a identificação de políticas e procedimentos eficazes no contexto da distribuição de energia elétrica. De acordo com o que foi sugerido por Triantis (2004) e Avkarin e Parker (2010), este tipo de investigação com o DEA pode contribuir para o desenho de intervenções de melhoria efetiva do processo. Em primeiro lugar, permite focar nos resultados individuais de uma DMU a operar num determinado contexto, analisando por exemplo os pesos atribuídos às variáveis, as referências para aprendizagem e as metas propostas para melhoria de desempenho. Em segundo lugar, em vez de se focar nas classificações individuais e nos *rankings* de desempenho produzidos, permite-nos estudar uma questão importante no contexto da análise DEA: a de investigar se diferenças de eficiência podem ser atribuídas a um programa específico de gestão ou às características de conceção.

Para ilustrar o uso do DEA para a avaliação formativa do desempenho, neste trabalho foi estudada a eficácia dos custos de manutenção de 79 linhas aéreas de média tensão pertencentes a uma rede regional de distribuição de energia elétrica, integrada no Sistema Público de Distribuição de Energia Elétrica em Portugal (ERSE), o qual compreende as análises sobre o impacto dos sistemas de diferente conceção e os diferentes programas de manutenção. Em primeiro lugar, foi feita a aplicação da estatística de *rank* de Mann-Whitney, a fim de avaliar o impacto da imposição de normas de qualidade definidas pelo regulador, associadas a sanções financeiras em

caso de incumprimento. Em segundo lugar, foi feita a aplicação da estatística de *rank* de Mann-Whitney, de forma a analisar a significância estatística das diferenças observadas entre um programa específico de manutenção e um programa de controlo. Em terceiro lugar, realizou-se uma análise dinâmica com o Índice de Produtividade de Malmquist (Caves et al. 1982, e Färe et al. 1994), a fim de avaliar o impacto da introdução de um novo tipo de tecnologia num grupo de linhas de média tensão. O objetivo deste trabalho é o de contribuir para uma melhor compreensão das especificações de conceção e dos programas de manutenção que possam contribuir para reduzir custos e melhorar a prestação de um serviço de qualidade neste contexto.

O restante trabalho está organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 define o contexto para este estudo.

O Capítulo 3 discute a metodologia utilizada para testar o impacto de políticas específicas de manutenção e o impacto da introdução de uma nova tecnologia.

O Capítulo 4 discute o modelo DEA utilizado para realizar a análise de eficiência e discute os resultados obtidos, tal como a sua validade e utilidade.

O Capítulo 5 conclui e apresenta sugestões para investigações futuras.

2. CONTEXTO DE ESTUDO

2.1. Distribuição de energia elétrica em média tensão - Linhas aéreas de média tensão - Sistemas de Distribuição e Eficiência de Operação

A EDP Distribuição é a empresa do grupo EDP que exerce a atividade de Operador de Rede de Distribuição, no território continental de Portugal, uma atividade regulada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), sendo titular da concessão para a exploração da Rede Nacional de Distribuição (RND) de Energia Elétrica em Média Tensão (MT) e Alta Tensão (AT), e das concessões municipais de distribuição de energia elétrica em Baixa Tensão (BT).

O Grupo EDP desenvolve a sua atividade de distribuição de energia elétrica em Portugal Continental e em Espanha, através da EDP Distribuição - Energia, SA (EDP Distribuição). Esta empresa do Grupo EDP tem a sua atividade regulada pela entidade reguladora ERSE.

A atividade de distribuição de eletricidade é uma atividade regulada que consiste em transportar a energia elétrica, por meio da rede de distribuição, subestações da rede de transporte para os pontos de consumo final (EDP Energias de Portugal 2009). No âmbito desta atividade, a EDP Distribuição constrói, opera e mantém a rede de distribuição e outras instalações destinadas a distribuição de eletricidade, garantindo qualidade de serviço e apoio direto e personalizado aos seus clientes. A rede de distribuição inclui as linhas aéreas e cabos subterrâneos de alta, média e baixa tensão, as subestações, os postos de transformação, a medição, faturação, e sistemas de suporte relacionados. Os equipamentos de iluminação pública também fazem parte da rede de distribuição. A fiabilidade e sustentabilidade da rede de distribuição são fundamentais para EDP Distribuição para desenvolver a sua atividade de distribuição de eletricidade e de garantir níveis adequados de prestação de serviços, com elevados padrões de qualidade.

A Manutenção em distribuição de energia elétrica é a atividade envolvida na manutenção do sistema de distribuição e dos seus equipamentos com o fim de os

manter em bom estado de funcionamento, para melhorar a sua fiabilidade e sustentabilidade e prolongar a sua esperança de vida (Manganye e Tlabela 2008). A medição e a melhoria da eficiência na distribuição de energia elétrica são de grande importância a fim de minimizar os custos globais envolvidos e maximizar a qualidade dos serviços prestados (minimização do número e duração das interrupções). Apesar da regulação dos padrões de qualidade de serviço, existe um certo nível de flexibilidade em relação à conceção e configuração da rede de distribuição e aos tipos específicos de atividades de manutenção a realizar. No que respeita à conceção do sistema, um bom exemplo da flexibilidade em causa é a opção de instalar ou não aparelhos de telecomando com funções de corte e religação (OCR) nas linhas aéreas de média tensão. Mediante instruções predefinidas, este equipamento irá interromper o fluxo de energia se houver uma falha de fornecimento de energia elétrica a montante, isolando o impacto da interrupção de alimentação a uma parte menor da linha de alimentação, até que o problema seja corrigido e o fornecimento de energia elétrica em média tensão restabelecido. Em relação ao tipo específico das atividades de manutenção realizadas nas linhas, um exemplo de flexibilidade é a quantidade de manutenção preventiva versus de manutenção corretiva que é realizada em cada uma das linhas. Enquanto que a manutenção preventiva é realizada antes que ocorra uma falha para manter um sistema em condições satisfatórias, a manutenção corretiva é realizada somente depois de uma falha (Heizer e Render 2010). Existem dois tipos de manutenção preventiva: baseada em tempo e baseada em condições. A prevenção baseada no tempo é feita em intervalos regulares de tempo, enquanto que a prevenção baseada em condições é feita com base no conhecimento do estado dos equipamentos. Por outro lado, a Manutenção corretiva pode ser realizada imediatamente após uma falha ou ser diferida no tempo, se a falha não exigir uma ação urgente.

Neste contexto, nos trabalhos anteriores, foram comparadas a eficiência e a produtividade das redes de distribuição de eletricidade. Santos et al. (2010) apresentam uma revisão abrangente destes estudos e salientam que estes trabalhos tendem a ser predominantemente sumativos, ou seja, os seus objetivos têm sido na generalidade descritivos e classificatórios. Weyman-Jones et al. (2008) e Santos et al. (2010) mostram exemplos de estudos de formação neste contexto, onde o objetivo principal é o de tirar algumas lições sobre como a medição de desempenho e melhoria podem ser

implementadas dentro de uma empresa de distribuição de eletricidade.

No presente estudo, o tipo de avaliação que se realiza é também de tipo formativo com o objetivo de extrair lições a respeito das intervenções de melhoria de processos no âmbito da distribuição de eletricidade, em particular, na manutenção dos ativos técnicos de linhas aéreas de média tensão. No entanto, contrariamente aos estudos anteriores realizados neste contexto, o nosso nível de análise é diferente. Seguindo as sugestões apresentadas por Triantis (2004), temos a intenção de abrir a “caixa de transformação *input-output*” no processo de manutenção e de o focar no processo de avaliação desagregado. Especificamente, é nosso objetivo comparar a eficiência de custos de 79 linhas aéreas de média tensão pertencentes a uma das redes regionais da EDP Distribuição e realizar análises sobre o impacto dos diferentes programas de manutenção e o impacto das diferentes especificações de conceção do sistema. Em primeiro lugar, pretendemos testar se as linhas pertencentes a diferentes áreas geográficas do serviço, que são sujeito a diferentes normas de qualidade de origem externa apresentam diferenças significativas na eficiência. Em segundo lugar, pretendemos testar se linhas com diferentes políticas de manutenção preventiva apresentaram diferenças significativas na eficiência. Em terceiro lugar, usamos o Índice de Produtividade de Malmquist para estudar o impacto da instalação de uma nova tecnologia (equipamentos de OCR), comparando o desempenho de uma amostra de linhas sem equipamento OCR em 2007, com o seu desempenho em 2008, após a instalação desta nova tecnologia.

3. METODOLOGIA

3.1.Utilização do DEA - Análise Envoltória de Dados, para avaliar o impacto de políticas e alternativas de projeto.

O DEA é uma técnica não-paramétrica utilizada para medir a eficiência de um conjunto de unidades de decisão (DMUs) e foi inicialmente proposto por Charnes et al. (1978). Esta técnica utiliza uma metáfora de produção. O DEA considera que cada DMU faz um processo de transformação, no qual se usam alguns *inputs* (recursos), por forma a obter alguns *outputs* (bens ou serviços). O DEA utiliza todos os dados

disponíveis sobre os *inputs* usados e os *outputs* obtidos para construir uma fronteira empírica de melhores práticas, com a qual cada DMU ineficiente é comparada.

Uma das características interessantes do DEA é que permite que cada DMU identifique um grupo de *benchmarking*, ou seja, um grupo de DMUs que seguem os mesmos objetivos e prioridades, mas com melhor desempenho. A este respeito o DEA visa respeitar as prioridades de cada DMU, permitindo que cada um delas escolha a estrutura de pesos para os *inputs* e os *outputs* que mais beneficia a sua avaliação. Como resultado, pretende-se classificar cada DMU da melhor forma possível em relação às demais DMUs. Outra vantagem do DEA é de não requer a especificação de uma função de custo ou de produção.

Numa das suas formas mais simples, a formulação do problema para a DMU Q é a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & H_Q = \frac{\sum_{i=1}^I w_i y_{iQ}}{\sum_{j=1}^J v_j x_{jQ}} \\ \text{subject to} \quad & \frac{\sum_{i=1}^I w_i y_{is}}{\sum_{j=1}^J v_j x_{js}} \leq 1 \quad \forall s, \text{ with } s = 1, \dots, Q \dots S. \\ & w_i, v_j \geq \varepsilon \quad \forall i, \text{ with } i = 1, \dots, I; \\ & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \forall j, \text{ with } j = 1, \dots, J. \end{aligned}$$

Onde S é o número de DMUs; I é o número de *outputs*; y_{is} é a quantidade de *output* i gerada pela DMU s; J é o número de *inputs*; x_{js} é a quantidade do *input* j utilizado pela DMU s; w_i é o peso associado ao *output* i; v_j é o peso associado ao *input* j, ε é um número positivo pequeno. H_Q é a medida de eficiência radial para DMU Q, e será igual a 1 se a DMU for classificada como eficiente, e menor do que 1 se a DMU for classificada como ineficiente quando comparado com os demais DMUs.

Um número significativo de inovações metodológicas têm sido propostas em relação à técnica DEA. O leitor interessado nestes desenvolvimentos pode consultar as publicações de Seiford (2009) e Cooper et al. (2007).

Neste trabalho, estudamos uma questão importante no contexto da análise DEA: a de

investigar, se as diferenças na eficiência podem ser atribuídas a um programa específico de gestão ou característica de concepção. Usamos dois métodos diferentes para realizar este tipo de análise. Em primeiro lugar, fazemos a aplicação da estatística de rank de Mann-Whitney (vide 3.1.1.) aos scores do DEA, a fim de avaliar a significância estatística das diferenças observadas entre o grupo de DMUs sujeitas a um programa de tratamento e um grupo de DMUs de controlo. Em segundo lugar, procedemos a uma análise dinâmica com o Índice de Produtividade de Malmquist, proposto por Caves et al. (1982) e posteriormente aprimorado por Färe et al (1994), a fim de estudar o impacto da introdução de uma nova tecnologia num grupo de linhas.

3.1.1. Metodologia de Brockett e Golany – Estimação da eficiência de programação.

Brockett e Golany (1996) propuseram uma nova abordagem para estimar a eficiência de programação, que se baseou na metodologia de "avaliação de programa", sugerido por Charnes e Rhodes (1981). A abordagem de Brockett e Golany é baseada num processo metodológico que envolve quatro passos, abaixo descritos:

- I. Dividir o grupo de todas as DMUs ($s = 1, \dots, S$) em dois grupos constituídos por S_1 e S_2 DMUs ($S_1 + S_2 = S$). Executar uma análise de DEA separadamente para os dois grupos.
- II. Em cada um dos dois grupos, ajustar separadamente os valores dos *inputs* ou *outputs* das DMUs ineficientes para o seu "nível se eficientes", projetando cada DMU para a fronteira de eficiência do seu grupo.
- III. Executar uma análise de DEA com todas as DMUs S , com os valores ajustados ao seu nível eficiente.
- IV. Aplicar um teste estatístico para os resultados da fase III para determinar se os dois grupos têm a mesma distribuição de valores de eficiência dentro do conjunto total. Brockett e Golany (1996: 469) que sugerem o uso da estatística de *rank* de Mann-Whitney.

Conforme o discutido por Brockett e Golany (1996), este procedimento permite uma

análise sobre o impacto dos programas específicos sobre o nível de eficiência através da distinção entre "ineficiência de gestão" e "ineficiência programática". As figuras 1a e 1b abaixo representadas mostram as situações contrastantes sobre o impacto dos dois programas. Considere-se, nas figuras 1a e um 1b, um conjunto de DMUs comparáveis, relativamente às quais se sabe que algumas recebem uma intervenção de programa (representadas como estrelas) e que as restantes não recebem essa intervenção (representadas como pontos).

Na figura 1a, temos uma situação em que o programa A aplicado a um grupo de DMUs não parece ter um impacto significativo no nível de eficiência, visto existirem DMUs que se situam na fronteira onde o programa foi implementado e outras, na mesma zona de fronteira, onde o programa não foi implementado.

Na figura 1b, temos uma situação onde o programa B foi aplicado a um grupo de DMUs que parece ter um impacto positivo significativo sobre o nível de eficiência - a fronteira de eficiência para as DMUs onde o programa foi implementado é bastante superior. Este efeito positivo pode ser identificado, apesar do facto de algumas das DMUs onde o programa foi introduzido, apresentarem níveis relativamente baixos de eficiência de gestão.

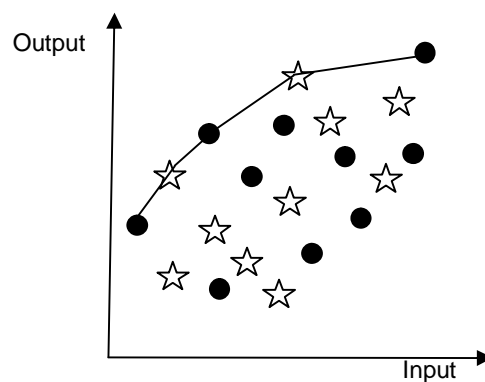


Figura 1a - Programa A parece não ter impacto significativo sobre o nível de eficiência

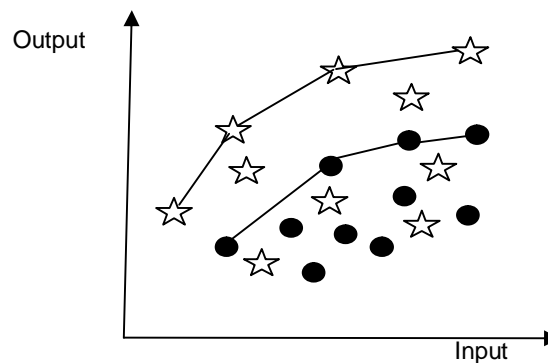


Figura 1b - Programa B parece ter um impacto significativo sobre o nível de eficiência

De acordo com Sympson (2005 e 2007), este procedimento de quatro etapas pode levar a resultados distorcidos. O enviesamento pode ser introduzido na segunda etapa, quando se faz o ajuste dos valores dos *inputs* ou *outputs* para o nível de eficiência de cada grupo. Isso ocorre porque o processo no segundo passo depende de como as DMUs eficientes são distribuídos entre os programas. Sympson (2007) demonstra que o procedimento proposto por Brockett e Golany (1996) tende a apresentar forte enviesamento quando dois grupos de tamanho desigual são comparados, favorecendo o maior dos dois grupos. A este respeito, e a fim de evitar esta distorção, o trabalho aqui apresentado desenvolveu-se com subgrupos de DMUs com tamanhos semelhantes.

3.2.O Índice de Produtividade de Malmquist

O DEA também pode ser usado para avaliar as mudanças de produtividade ao longo do tempo através do cálculo do Índice de Produtividade de Malmquist (MPI) e seus componentes. O MPI é um índice que representa a Produtividade Total do Fator (PTF) do crescimento de uma DMU, na medida em que reflete o progresso ou retrocesso em termos de eficiência, juntamente com o progresso ou regresso da tecnologia de fronteira ao longo do tempo sob as múltiplas entradas e múltiplas saídas (Tone, 2004:

203). Este índice é calculado multiplicando-se dois índices: o índice de aproximação à fronteira e o índice de mudança na fronteira. O índice de aproximação à fronteira capta o efeito da alteração na taxa de eficiência de uma DMU, de um período para outro, enquanto que o efeito de mudança da fronteira capta o deslocamento da fronteira de eficiência de um período para outro. A técnica DEA pode ser utilizada para calcular tanto o índice de aproximação à fronteira como o índice de mudança da fronteira, assumindo retornos constantes de escala (CRS).

Considere que $\delta^{t_2}((x_Q, y_Q)^{t_1})$, com dois períodos temporais t_1 e t_2 , representa o *score* de eficiência da DMU_Q no período de tempo t_1 , com referência à tecnologia de produção a vigorar no período t_2 , com o pressuposto de rendimentos constantes de escala (CRS). Com base em Tone (2004), o índice de aproximação à fronteira (C) e o índice de mudança de fronteira (F) podem ser calculados usando as seguintes expressões:

$$C = \frac{\delta^2((x_Q, y_Q)^2)}{\delta^1((x_Q, y_Q)^1)}.$$

$$F = \left[\frac{\delta^1((x_Q, y_Q)^1)}{\delta^2((x_Q, y_Q)^1)} \times \frac{\delta^1((x_Q, y_Q)^2)}{\delta^2((x_Q, y_Q)^2)} \right]^{1/2}.$$

Multiplicando ambos os efeitos, obtemos a expressão para o Índice de Produtividade de Malmquist (MPI):

$$MPI = \left[\frac{\delta^1((x_Q, y_Q)^2)}{\delta^1((x_Q, y_Q)^1)} \times \frac{\delta^2((x_Q, y_Q)^2)}{\delta^2((x_Q, y_Q)^1)} \right]^{1/2}.$$

Se o MPI for igual a um, indica que houve uma estagnação na produtividade total dos fatores entre os dois períodos analisados. Alternativamente, se o MPI for menor ou maior que um, indica que houve retrocesso ou progresso, respetivamente, na produtividade total dos fatores.

A identificação de cada um dos componentes do Índice de Malmquist é útil para entender as causas das mudanças na produtividade de cada uma das DMUs, e para a indústria como um todo. Outro aspecto que é importante para a análise é a identificação do grupo de DMUs que inovaram de um período para o outro. Estas são as DMUs que têm contribuído para mudar a fronteira para níveis mais elevados. Färe et al. (1994) estabeleceram duas condições necessárias e suficientes para caracterizar uma DMU como inovadora. Essas condições são as seguintes:

$$\delta^{t+1}((x_{\rho}, y_{\rho})^{t+1}) = 1 \quad \text{e} \quad \delta^t((x_{\rho}, y_{\rho})^{t+1}) > 1.$$

4. DADOS E RESULTADOS

4.1. Utilização do DEA para avaliar o impacto de design e alternativas de intervenção

Este estudo foca-se numa dada região do País e procura desenvolver um modelo de análise de eficiência de ativos (linhas aéreas de média tensão) com suporte na técnica não paramétrica de análise de dados conhecida como DEA, relacionando os índices de qualidade e os custos de manutenção, nos anos de 2006, 2007 e 2008.

Este estudo foi iniciado com uma análise muito cuidada relativamente à escolha das variáveis *inputs* e *outputs*, visto que os resultados das eficiências são muito sensíveis às opções tomadas (Pedraja-Chaparro et al., 1999). No âmbito da manutenção de ativos do setor elétrico, e em particular nas linhas aéreas de média tensão, os *outputs* estão relacionados com as características físicas dos ativos (comprimento da linha, potência instalada, número de postos de transformação MT/BT (pontos de entrega em média tensão) e os *inputs* estão relacionadas com os recursos utilizados na manutenção e outros fatores exógenos que possam contribuir para colocar a linha de média tensão fora de serviço durante um certo tempo, que afetaram o fornecimento de energia em instalações com determinada potência instalada e em determinados postos de transformação. Ao usar o DEA para avaliar o desempenho dos ativos técnicos 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* selecionados, estes deverão, tanto quanto possível, refletir os aspetos principais do processo de transformação em estudo. Para além dos *inputs* e *outputs* discricionários (controláveis pela organização), é fundamental considerar também variáveis não discricionárias, de modo a ter em conta as diferenças no ambiente em que as DMUs operam.

Numa visão mais geral das empresas de distribuição do setor elétrico, e baseados numa revisão de vários estudos de *benchmarking*, Jamasb e Pollitt (2003) listaram os *inputs* e *outputs* mais usados, donde se constata não haver consenso sobre as variáveis que melhor descrevem o seu funcionamento. Nestes estudos, não há referência a estudos desenvolvidos sobre os ativos técnicos das empresas de distribuição do setor elétrico.

O objetivo do estudo aqui apresentado é o de referenciar os custos de manutenção dispendidos num ativo técnico em relação aos parâmetros de qualidade obtidos num dado período, cuja evolução tem na generalidade um controlo mensal, embora as respostas consolidadas sejam obtidas no final de um ano de operação. Os custos de manutenção na reparação de avarias têm de ter respostas imediatas pois visam a reposição do serviço no mínimo período de interrupção do fornecimento. Os custos de manutenção preventiva (sistemática, condicionada ou preditiva) irão depender de decisões do gestor de manutenção, que serão condicionadas pela avaliação global do ativo técnico e da política de manutenção decidida para o mesmo, reabilitação ou substituição.

Até ao ano de 2008 o parâmetro de qualidade mais relevante para a manutenção foi TIEPI_MT (tempo de interrupção equivalente em minutos da potência instalada em média tensão). A partir de 2009, os indicadores de qualidade mais relevantes para a atividade de manutenção passaram a ser o MAIFI_MT e o SAIFI_MT. O MAIFI_MT reflete as interrupções de curta duração no fornecimento de energia, com período igual ou inferior a 3 minutos nos postos de transformação. O SAIFI_MT indica-nos a frequência média das interrupções de longa duração no fornecimento de energia, com período superior a 3 minutos nos postos de transformação. Assim, o objetivo do estudo foi o de relacionar os custos de manutenção das DMUs (linhas aéreas de média tensão) com os índices de qualidade que mais refletem na organização as atividades de manutenção, o SAIFI_MT e o MAIFI_MT. No desenvolvimento do estudo houve uma preocupação em manter um pensamento crítico e construtivo com a participação consultiva de colaboradores da Manutenção da EDP Distribuição, a fim de que o modelo construído apresentasse resultados que pudessem ser relacionados com o contexto real. Em termos práticos, foi realizada uma análise da eficiência dos ativos designados por linhas aéreas de média tensão. Para efeito do estudo, considerou-se como linha aérea de média tensão, a linha que tivesse o comprimento aéreo superior em mais de 50% em relação ao comprimento total, que é geralmente composto por uma componente aérea e outra subterrânea. No estudo foram consideradas 79 linhas aéreas de média tensão implantadas numa região que constitui uma das redes de distribuição regional de EDP Distribuição, que distribuem a energia elétrica em média tensão aos postos de transformação MT/BT e que apresentam diferentes desempenhos

de qualidade e de serviço.

Para o desenvolvimento do estudo e após uma abordagem às variáveis adotadas, foram definidas as possíveis variáveis baseadas na revisão da literatura e as restantes, resultantes de troca de opiniões com os especialistas da área de manutenção.

Foram desenvolvidos e testados vários modelos de análise e os seus resultados foram analisados em conjunto com estes profissionais envolvidos na manutenção das linhas. Num modelo preliminar testado para avaliar as linhas aéreas de média tensão, os índices de qualidade foram considerados como a resposta do sistema, e em consequência, foram usados como variáveis de *output* do modelo de DEA. Como variáveis de *input* neste modelo preliminar usamos informação sobre os vários acontecimentos que contribuíram para a sua operação, sendo objetivo do modelo minimizar os *inputs*. Os resultados obtidos não confirmaram os valores esperados, pelo que houve necessidade de reformular as variáveis *input* e *output*. Assim, trocamos os índices de qualidade pelas características físicas das linhas, nas variáveis *output* e redefinimos para as variáveis *input*, o que queríamos observar (custos de manutenção, potência e número de postos de transformação afetados pelas interrupções, o número de interrupções do fornecimento de energia e a sua duração), ou seja, ajustando o modelo aos objetivos da manutenção, escolhendo como *inputs* as variáveis que mais contribuem para os parâmetros de qualidade relevantes da sua atividade.

Nos resultados apresentados neste estudo, as designações das linhas aéreas de média tensão foram substituídas por números de modo a preservar a sua identidade. A análise formativa dos resultados de cada linha, patente no primeiro estudo efetuado, ocorreu para o ano mais recente (2008).

Na revisão da literatura efetuada por Jamasb e Pollitt (2003), constata-se que a generalidade dos estudos neste contexto opta por um modelo orientado para a minimização dos *inputs*. Esta pareceu-nos de facto ser também a orientação mais adequada para o nosso estudo. Em concreto, estamos a considerar a análise de ativos técnicos, no caso as DMUs são as linhas aéreas de média tensão, no qual o controlo dos gestores de manutenção sobre alguns dos *outputs* é limitado.

Desta forma, nas nossas análises de eficiência foi considerado um modelo orientado para a minimização de *inputs*, já que as variáveis *input* têm de ser controladas pelo gestor de manutenção enquanto os *outputs* representam a realidade física dos ativos instalados, os quais deverão ser explorados no máximo das suas capacidades de conceção. O gestor de manutenção tem como objetivo o de reduzir os valores das variáveis de *input* até encontrar o equilíbrio ótimo entre os custos de manutenção e os parâmetros de qualidade de serviço do ativo, para o valor ótimo dos Índices de Qualidade, que são o valor “zero”, representando ausência de interrupções de serviço.

As DMUs são caracterizadas individualmente por um índice de criticidade, em função dos quais se aplicam os diferentes planos de manutenção. Assim, a DMU de IC=A tem previsto um plano de manutenção mais exigente do que uma DMU de IC=B e o mesmo se aplica desta em relação à DMU com IC=C. Contudo, as DMUs com diferentes ICs poderão alimentar Zonas que estão caracterizadas pela Entidade Reguladora (ERSE) como Zonas A, B ou C, como se ilustra nas figura 2:

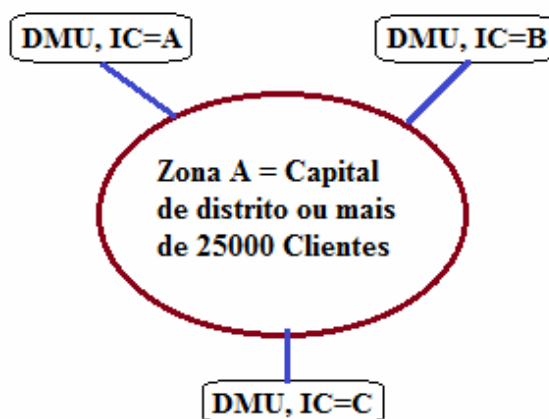


Figura 2a – Linhas com IC=(A, B ou C) podem alimentar uma Zona A(ERSE)

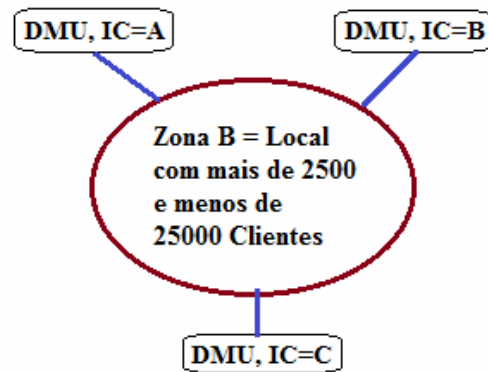


Figura 2b – Linhas com IC=(A, B ou C) podem alimentar uma Zona B(ERSE)

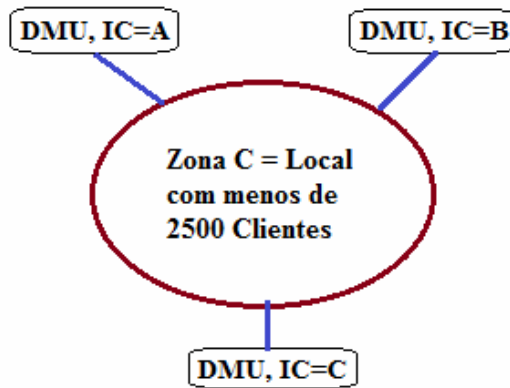


Figura 2c - Linhas com IC=(A, B ou C) podem alimentar uma Zona C(ERSE)

Atendendo ao exposto e às exigências da Qualidade de serviço, segmentou-se a amostra em dois grupos. O primeiro, com as DMUs adstritas à Zona A, que por representarem um número muito reduzido de linhas foram juntas com as DMUs afetas à zona B, formando um grupo com 31 DMUs e as restantes 48 DMUs afetas à zona C, que no estudo, permitiu analisar, separadamente, a eficiência das DMUs em 2008 nos dois grupos.

4.2. Construção do modelo de análise (Orientação *input*, pressuposto VRS e restrições aos pesos flexíveis)

A escolha das variáveis finais a usar na análise resultou de várias reuniões realizadas com colegas responsáveis pela manutenção do sistema numa das redes regionais de EDP Distribuição e do teste de vários modelos preliminares. Tal como anteriormente discutido, o uso da orientação *input* deve-se ao facto do objetivo da manutenção sobre o ativo, ser o de reduzir os custos de manutenção e melhorar a sua qualidade de serviço, dadas as características das linhas. Neste contexto, a qualidade de serviço refere-se ao grau de confiança dos clientes em relação à empresa de distribuição. Em termos de qualidade de serviço, o principal objetivo é o de minimizar o número de interrupções e a sua duração, o de reduzir a potência afetada e o número de postos de transformação afetados pelas interrupções. As variáveis de *output* são caracterizadas pelo comprimento da linha aérea, pela potência instalada e pelo número de postos de transformação instalados, as quais representam as características das linhas.

Foi também equacionada a possibilidade de incluir uma variável de *output* relacionada com a idade das linhas e seus ramais. Esta variável foi considerada importante porque poderia contribuir para explicar parcialmente as diferenças na qualidade da prestação de serviços, em particular, em termos do número de interrupções. Infelizmente, à data de elaboração do estudo, não foi possível obter dados fiáveis para esta variável e, portanto, a mesma não pode ser incluída na análise. Apresentam-se de seguida as variáveis usadas na análise efetuada:

Modelo de DEA usado nas análises de eficiência

Inputs:

- X_1 = Custos de manutenção, em euros;
- X_2 = Potência afetada pelas interrupções do fornecimento, em kVA;

- X_3 = Número de postos de transformação afetados pela interrupção do fornecimento, em unidades;
- X_4 = Número total de interrupções do fornecimento de energia, em unidades;
- X_5 = Duração das interrupções do fornecimento, em minutos.

Outputs:

- Y_1 = Comprimento da linha aérea de média tensão, em metros;
- Y_2 = Potência instalada na linha de média tensão, em kVA;
- Y_3 = Número de pontos de entrega em média tensão na linha aérea de média tensão, em unidades.

O primeiro *input*, custos de manutenção, resulta da soma dos custos com os vários tipos de manutenção (preventiva sistemática, preventiva condicionada, preditiva e corretiva) utilizados pelo gestor de manutenção, que controla os custos utilizados no ativo. O segundo *input*, potência afetada pelas interrupções do fornecimento de energia. O terceiro *input* indica o número total de postos de transformação ou pontos de entrega em média tensão afetados pelas interrupções; o quarto *input* indica o número total de interrupções (considerado o número total das interrupções, atendendo a que o número de interrupções de curta duração é muito superior ao número de interrupções de longa duração) e o quinto *input*, o período de tempo, em minutos, em que a linha de média tensão sofreu de interrupção de fornecimento. Estes *inputs* foram considerados como fatores essenciais, pois refletem as variáveis diretamente ligadas à condição do ativo em manutenção.

Com exceção do primeiro *input*, os restantes *inputs* estão relacionados com os indicadores de qualidade de serviço do ativo. Em relação aos estudos efetuados nas

áreas de distribuição de eletricidade, a inclusão de indicadores de qualidade tem sido raro, com exceção de Giannakis *et al.* (2005), que realça a sua importância em considerar indicadores de qualidade neste contexto. Os indicadores de qualidade de serviço do ativo que mais pesam em Manutenção, são o SAIFI_MT (*System Average Interruption Frequency Index*) e o MAIFI_MT (*Momentary Average Interruption Frequency Index*). O primeiro indica a frequência média de interrupções de longa duração (tempo de interrupção superior a 3 minutos) nos pontos de entrega da DMU em relação ao total dos pontos de entrega na região, em média tensão; o segundo traduz a frequência média das interrupções de curta duração (tempo de interrupção inferior a ou igual a 3 minutos) nos pontos de entrega da DMU, em relação ao total de pontos de entrega na região, em média tensão. Na EDP Distribuição, um dos indicadores mais importantes negociado com a Entidade Reguladora é o TIEPI_MT, que nos indica em minutos, o tempo de interrupção da potência instalada (em kVA) na região ou no País. Estes indicadores de qualidade serão tanto melhores quanto menor for o valor apresentado. Embora os indicadores da qualidade devam ser utilizados como *outputs*, considerando que neste caso o objetivo é minimizar o SAIFI_MT, o MAIFI_MT ou o TIEPI_MT, é tecnicamente possível utilizá-los no modelo de DEA como *inputs*, como é sugerido por Dyson *et al.* (2001). De seguida, apresentam-se as expressões de cálculo dos índices referenciados:

$$SAIFI_MT(dmui) = \frac{\sum_{i=1}^n I_{a_i} \times Posto_Transf_Aft_i}{(Total_Postos_Transf_MT)região}$$

$$MAIFI_MT(dmui) = \frac{\sum_{i=1}^n I_{b_i} \times Posto_Transf_Aft_i}{(Total_Postos_Transf_MT)região}$$

$$TIEPI_MT(dmui) = \frac{\sum_{i=1}^n Pot_Inst_Aft \times I_{a_i} \times T_i}{(Total_Pot_Instalada_MT)região}$$

Ia = Incidentes, com duração superior a 3 minutos;

Ib = Incidentes, com duração menor ou igual a 3 minutos;

P = Potência instalada nos postos de transformação de serviço público e particular;

T = Tempo de interrupção de fornecimento de cada posto de transformação.

Tal como anteriormente discutido, os *inputs* e *outputs* usados resultaram de um processo de análise de resultados de várias propostas de modelos. Uns visavam a diversificação dos diferentes custos de manutenção pelas DMUs em relação aos diferentes índices de qualidade, às causas determinadas dos acontecimentos e até aos fatores ambientais na altura dos mesmos. Procurou-se encontrar uma segmentação das DMUs pelos seus índices de Criticidade (A e B) e C, os quais eram de 25,3% e 74,7%, respetivamente. Efetuou-se também pesquisa pelas DMUs, relativamente ao número de instalações com ações de telecomando. Posteriormente, e em relação a estes dispositivos, foram comparadas entre si as DMUs que não tinham dispositivos de telecomando, as que os tinham e que os mantiveram nos períodos em análise ou que tiveram acréscimo dos mesmos. Estas instalações tiveram um crescimento significativo de 2006 para 2008, e visavam sobretudo, uma redução do TIEPI_MT.

A fim de minimizar o impacto de acontecimentos excecionais relacionados com as condições climáticas, o estudo está focado sobre DMUs, sujeitas a condições climáticas relativamente homogéneas. Nestas condições e porque estamos focados na minimização das variáveis de *input*, utilizamos um modelo DEA com orientação *input*.

Considerando que não existe proporcionalidade entre os *inputs* e os *outputs*, optamos por usar o modelo proposto por Banket et al. (1984) que assume retornos variáveis de escala (VRS). No contexto analisado, considerou-se que há espaço para economias de escala, especialmente em custos de manutenção preventiva. Por exemplo, se

duplicarmos o comprimento de uma DMU, não implica, necessariamente, o dobro do custo total de manutenção. O mesmo se verifica para alguns dos indicadores de qualidade (número de interrupções, o tempo total interrupção).

4.2.1. A inclusão de restrições aos pesos das variáveis

Os resultados do DEA obtidos a partir da aplicação de modelo clássico de DEA com as variáveis de *input* e *output*, apresentadas anteriormente, foram discutidos com os especialistas de manutenção da EDP Distribuição afetos a uma dada região do país. A discussão levantou uma questão fundamental relacionada com a estrutura dos pesos das variáveis. O facto de muitas DMUs terem sido classificadas como eficientes, apresentando um peso nulo para os indicadores de qualidade foi considerado inadequado. Assim, foi incluído um conjunto de restrições aos pesos virtuais do modelo, de acordo com a metodologia sugerida por Sarrico e Dyson (2004). Seguindo a metodologia proposta por estes autores, desenvolvemos restrições de peso virtual do tipo I, que foram aplicadas a cada DMU objeto de avaliação. Escolhemos este tipo de restrição porque, por um lado, traduzem uma representação natural das preferências e, por outro lado, após a inclusão deste tipo de restrições, os índices de eficiência e as metas continuam a ser passíveis de interpretação (Sarrico e Dyson, 2004).

Com base nas reuniões com o painel de colaboradores da Manutenção foi possível estabelecer a seguinte hierarquia de importância para as variáveis:

Inputs mais importantes (por ordem):

X_4 = Número de interrupções do fornecimento

X_5 = Duração total das interrupções

X_1 = Custos de manutenção

Output mais importante – Y_1 = Comprimento da linha aérea de média tensão

A fim de satisfazer as preferências dos especialistas de manutenção, foram adicionadas ao modelo dez restrições de peso virtuais, repartidas em quatro conjuntos. Os primeiros dois conjuntos de restrições foram definidos para garantir que o peso virtual associado ao número de interrupções, por um lado, e o peso virtual associado ao tempo total de interrupção, por outro, não seria menor do que o peso virtual associado a qualquer uma das outras três variáveis de *input*. Estes conjuntos de restrições foram considerados necessários porque, o número de interrupções e o tempo total de interrupção são dois dos principais componentes no cálculo dos indicadores de qualidade em uso na EDP Distribuição, na área da Manutenção, o MAIFI_MT e o SAIFI_MT.

Primeiro conjunto: $X_4 \geq X_1$, $X_4 \geq X_2$ e $X_4 \geq X_3$.

Segundo conjunto: $X_5 \geq X_2$ e $X_5 \geq X_3$

Terceiro conjunto: $X_1 \geq X_2$, $X_1 \geq X_3$ e $X_1 \geq X_5$.

Quarto conjunto - $Y_1 \geq Y_2$ e $Y_1 \geq Y_3$

Foi também considerado necessário um terceiro conjunto de restrições, porque havia o interesse em identificar as linhas com melhores práticas, tanto em termos de qualidade como em contenção de custos. Por fim, foi definido um quarto conjunto de duas restrições para garantir que o peso virtual associado com o comprimento da rede, não fosse menor do que o peso associado com qualquer uma das outras duas variáveis de output. Este último conjunto de restrições foi justificado porque, considerando os três outputs definidos, o comprimento da rede foi a variável considerada mais relevante para explicar os custos e padrões de qualidade.

O software utilizado nos trabalhos foi o PIM-DEA Software - Version 3, desenvolvido por Emrouznejad and Thanassoulis.

Como exemplos de aplicações formativas da análise DEA neste contexto apresentamos

de seguida os resultados de três estudos relativos às 79 linhas de média tensão.

4.3. 1º Estudo - Análise DEA das 79 DMUs em 2008

Este primeiro estudo tem como objetivo a análise comparativa das DMUs caracterizadas em 2008, com fins de aprendizagem. O mesmo tem como base o modelo com 8 variáveis e 10 conjuntos de restrições, que foi apresentado anteriormente.

As 79 DMUs foram segmentadas de acordo com a ERSE, em zonas A, B e C, conforme a concentração dos clientes. O primeiro grupo agrupa 31 DMUs afetas às zonas A e B e o 2º grupo, 48 linhas afetas à zona C.

Apresenta-se de seguida um quadro resumo relativo à Análise global DEA das 79 DMUs em 2008, para que o leitor possa verificar o tipo de informação que foi usada no estudo.

| DMU/UN | <i>Inputs</i> | | | | | <i>Outputs</i> | | | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | ZONA |
| | € | kVA | un | un | Minuto | metro | kVA | Un | A,B, C |
| L1 | 1607,57 | 85238 | 216 | 6 | 449 | 19113 | 12155 | 36 | B |
| L2 | 2381,2 | 8290 | 31 | 1 | 69 | 17541 | 8290 | 31 | B |
| | | | | | | | | | |
| L18 | 4059,42 | 56650 | 384 | 8 | 297 | 42848 | 8360 | 49 | A |
| L19 | 1271,48 | 5955 | 25 | 1 | 0,1 | 13152 | 5955 | 25 | A |
| L20 | 6333,26 | 34015 | 201 | 5 | 380 | 28950 | 6705 | 40 | C |
| | | | | | | | | | |
| L79 | 3129,62 | 231975 | 465 | 15 | 269 | 23042 | 8375 | 31 | B |
| Total | 407042 | 9438445 | 53841,1 | 1102 | 60553 | 2964035 | 620055 | 3180 | |

Tabela I - Valores reais de 2008

A tabela I apresenta o universo (em formato resumido) para a série de dados das

variáveis selecionadas do modelo, no ano de 2008, caracterizadas por Zonas A, B ou C, de acordo com a Entidade Reguladora (ERSE). Como se pode verificar, neste ano, os custos de manutenção ascenderam a 407042 €, repartidos em manutenção preventiva e manutenção corretiva. A potência total afetada pelas interrupções de fornecimento de energia foi de 9438 kVA, distribuída por 53841 pontos de entrega (postos de transformação), ocasionadas por 1102 interrupções, num total 60553 minutos de interrupção no fornecimento de energia. As linhas têm um comprimento de 2964 km e alimentam 3180 postos de transformação, com um total de 620055 kVA de potência instalada.

| Variável | Média | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão |
|--|---------|--------|----------|---------------|
| X ₁ : Custos de Manutenção (€) | 5152,4 | 155,87 | 24939,21 | 4923,5 |
| X ₂ : Potência afetada (kVA) | 119474 | 0,1 | 618811 | 120542,2 |
| X ₃ : Postos de Transf. Afetados (un) | 681,5 | 0,1 | 4425 | 802,3 |
| X ₄ : Número de Interrupções (un) | 14 | 0,1 | 58 | 12,4 |
| X ₅ : Tempo de Interrupção (minuto) | 766,5 | 0,01 | 4221 | 866,9 |
| Y ₁ : Comprimento Linha Aérea (m) | 37519,4 | 3228 | 129291 | 28161 |
| Y ₂ : Potência Instalada (kVA) | 7848,8 | 2500 | 16660 | 3558,8 |
| Y ₃ : Postos de Transf. Instalados (un) | 40,3 | 2 | 86 | 17,8 |

Tabela II - Descritivo estatístico das DMUs em 2008

A tabela II apresenta o descritivo estatístico para a série de dados do ano de 2008. Os custos de manutenção variaram entre 156 € e 24939 €, a potência afetada variou entre 0 e 618811 kVA; as afetações dos postos de transformação variaram entre 0 e 4425; o número de interrupções do fornecimento de energia variou entre 0 e 58 vezes e o tempo de interrupção variou entre 0 e 4221 minutos. As linhas tiveram um comprimento mínimo de 3228m e um máximo de 129291m, com potência instalada de 2500 kVA a 16660 kVA, a qual está instalada nos postos de transformação, que variaram de 2 a 86 por linha.

Como nota, salientar que o valor de 0,1 ou 0,01 corresponde de facto a um valor nulo nas respetivas variáveis, o que significa que a linha não foi afetada nesse parâmetro.

O assumir destes valores foi devido a questões relacionadas com o programa de aplicação, o qual não funciona bem com valores nulos nas variáveis.

| <i>Inputs</i> | <i>Outputs</i> | | |
|--|---|---|---|
| | Y ₁ :-Comprimento Linha Aérea (m) | Y ₂ :Potência Instalada (kVA) | Y ₃ :Post. de Transf. Instalados (un) |
| X ₁ : Custos de Manutenção (€) | 0,619 | 0,020 | 0,628 |
| X ₂ : Potência Afetada (kVA) | 0,407 | 0,495 | 0,595 |
| X ₃ : Posto Transf. Afetado (un) | 0,625 | 0,195 | 0,722 |
| X ₄ : Número de Interrupções (un) | 0,518 | 0,123 | 0,573 |
| X ₅ : Tempo de Interrupção (minuto) | 0,388 | 0,142 | 0,433 |

Tabela III - Coeficientes de Correlação de Pearson (2008)

Considerando que a técnica do DEA presume a existência de uma correlação entre os inputs e outputs, foi efetuada uma análise de correlação de Pearson entre as variáveis usadas, conforme a tabela III. Os coeficientes de correlação são positivos entre os cinco *inputs* (custos de manutenção, potência afetada, postos de transformação afetados, número de interrupções e o seu tempo de duração) e os três *outputs* (comprimento da DMU, potência instalada e postos de transformação instalados). Verifica-se uma correlação significativa entre os *inputs* e o *output* posto de transformação instalado, no qual se constata a existência de forte correlação entre as variáveis de *input* e a quantidade de postos de transformação instalados em cada DMU. De facto, existe uma forte dependência da qualidade da DMU em relação ao número de postos de transformação instalados, atendendo a que, quanto mais unidades existirem, maior será o número de derivações e respetivos órgãos de manobra associados, introduzindo por isso uma maior probabilidade de avaria, nomeadamente devido aos elementos externos (causas ambientais, mecânicas, avifauna, etc.). Por outro lado, existe uma fraca correlação entre os custos de manutenção e a potência instalada na linha.

4.3.1. 1ª Segmentação em 2008 – 31 DMUs afetadas às zonas A e B

| DMU/un | Inputs | | | | | Outputs | | |
|--------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ |
| | € | kVA | Un | Un | minuto | Metro | kVA | un |
| L38 | 4897,33 | 268572 | 1038 | 25 | 736 | 30310 | 8425 | 42 |
| ... | ... | ... | | ... | ... | ... | ... | ... |
| L55 | 3833,92 | 25245 | 81 | 3 | 0,1 | 26029 | 8075 | 27 |
| L56 | 155,87 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 3228 | 3300 | 2 |
| ... | ... | ... | | ... | ... | ... | ... | ... |
| L59 | 1066,82 | 240988 | 461 | 11 | 799 | 89032 | 13815 | 42 |
| Total | 124261,1 | 3359375,1 | 15993,1 | 365,1 | 20057,3 | 980635 | 244760 | 1123 |

Tabela IV - DMUs agrupadas por Zona (A + B) em 2008

A tabela IV, de acordo com a segmentação efetuada anteriormente por Zonas, representa o grupo de 31 DMUs relativas às zonas A e B, em 2008.

| Variável | Média | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão |
|--|----------|--------|---------|---------------|
| X ₁ : Custos de Manutenção (€) | 4008,4 | 155,9 | 15582,2 | 3659,28 |
| X ₂ : Potência afetada (kVA) | 108366,9 | 0,1 | 382330 | 104464,5 |
| X ₃ : Postos de Transf. Afetados (un) | 515,9 | 0,1 | 1764 | 508,8 |
| X ₄ : Número de Interrupções (un) | 11,8 | 0,1 | 31 | 9,49 |
| X ₅ : Tempo de Interrupção (minuto) | 647 | 0,1 | 4221 | 872,6 |
| Y ₁ : Comprimento Linha Aérea (m) | 31633,4 | 3228 | 89032 | 22223,4 |
| Y ₂ : Potência Instalada (kVA) | 7895,5 | 2560,0 | 113815 | 3184,58 |
| Y ₃ : Postos de Transf. Instalados (un) | 36,2 | 2 | 79 | 16,56 |

Tabela V - Descritivo estatístico das DMUs – Zona (A + B) em 2008

A tabela V apresenta o descritivo estatístico as 31 DMUs relativas às zonas A e B, e apresentam como valores médios de *outputs*:

- comprimento = 31633,4 m;
- potência instalada = 7895,5 kVA;
- postos de transformação instalados = 515,9

e valores médios de *inputs* ;

- custos de manutenção = 4008,4 €
- potência afetada = 108366,9 kVA;
- postos de transformação afetados, 788,5;
- número de interrupções = 11,8;
- tempo de interrupção = 647 m.

O desvio padrão é de cerca de 3659,28 € em manutenção e de 22223,43 m no comprimento da linha.

| DMU | EFICIÊNCIA | BENCHMARKS |
|-----|------------|----------------------------------|
| L1 | 36,63% | L2(0,8802) L59(0,1198) |
| ... | ... | ... |
| L3 | 71,81% | L52(0,6403) L56(0,3597) |
| L30 | 100,00% | L30(1) |
| ... | ... | ... |
| L79 | 44,29% | L30(0,7987) L47(0,1563) L(0,045) |

Tabela VI - Eficiência das DMUs agrupadas por Zona (A + B)

A tabela VI mostra em resumo a eficiência das 31 DMUs. Apresenta também as DMUs que mostram ineficiência e as DMUs que lhes servem como modelo de aprendizagem. A forma de interpretar esta informação do DEA é a seguinte. Por exemplo, a linha 1 que foi considerada ineficiente em termos relativos, com uma taxa de 36,63% pode seguir os modelos das linhas 2 e 59 como referência para melhorar o seu desempenho. Estas foram as duas linhas que conseguiram uma classificação de 100% usando exatamente a mesma estrutura de pesos escolhida pela linha 1. Isto significa que são duas linhas com características semelhantes às da linha 1 e que podem servir como referências para a aprendizagem. No nosso ponto de vista esta é uma informação muito útil para as DMUs ineficientes dado que lhes permite identificar os seus peers mais relevantes para aprendizagem.

No conjunto, destacam-se 11 DMUs consideradas eficientes. Destas 11, as DMUs mais citadas como modelos de aprendizagem foram as L30 e a L59, com 14 citações cada.

| DMU | EFICIÊN* | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ |
|-----|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| L1 | 36,63% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 33,3% | 33,3% | 33,3% |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| L3 | 71,81% | 33% | 33% | 0% | 33% | 0% | 50,0% | 0,0% | 50,0% |
| L30 | 100,00% | 20,0% | 20,0% | 20,0% | 20,0% | 20,0% | 44,3% | 44,3% | 11,3% |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| L79 | 44,29% | 26% | 26% | 0% | 26% | 23% | 50% | 50% | 0% |

Tabela VII - Pesos virtuais *inputs* e *outputs* - DMUs agrupadas por Zona (A + B)

A tabela VII mostra-nos os pesos virtuais dos *inputs* e *outputs*, que são os coeficientes escolhidos pelo modelo de otimização por forma a maximizar a taxa de eficiência relativa de cada DMU, respeitando as restrições de peso impostas na construção do modelo. A forma de interpretar esta informação é a seguinte. Por exemplo, a linha 1 obteve uma taxa de eficiência relativa de 36,63% atribuindo 100% do peso à 4ª variável de *input* (N.º de interrupções) e repartindo igualmente o peso entre as três variáveis de *output*. Esta é a estrutura de pesos que, respeitando as restrições impostas, permite à linha em análise obter a taxa máxima de eficiência relativa. Qualquer outra estrutura de pesos admissível face às restrições impostas que pudesse ser escolhida traduzir-se-ia numa taxa de eficiência relativa inferior.

4.3.2. 2ª Segmentação em 2008 – 48 DMUs afetas à zona C

| DMU/un | Inputs | | | | | Outputs | | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ |
| | € | kVA | un | un | Minuto | metro | kVA | un |
| L10 | 4661,46 | 271840 | 2726 | 58 | 974 | 54386 | 7970 | 47 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| L66 | 3759,79 | 120160 | 1360 | 24 | 943 | 55945 | 9665 | 57 |
| L68 | 7018,78 | 33230 | 167 | 4 | 148 | 30050 | 7845 | 42 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| L78 | 9575 | 40710 | 687 | 16 | 5 | 29555 | 10140 | 43 |
| Total | 282781 | 8700110 | 37848 | 737 | 40496 | 1983400 | 375295 | 2057 |

Tabela VIII - DMUs agrupadas Zona C

A tabela VIII, de acordo com a segmentação efetuada anteriormente por Zonas, representa o grupo de 48 DMUs relativas a zonas C, em 2008.

| Variável | Média | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão |
|--|----------|--------|----------|---------------|
| X ₁ : Custos de Manutenção (€) | 5891,3 | 594,4 | 24939,2 | 5501,0 |
| X ₂ : Potência afetada (kVA) | 181252,3 | 2240,0 | 608550,0 | 168443,7 |
| X ₃ : Postos de Transf. Afetados (un) | 788,5 | 1,0 | 4425,0 | 934,5 |
| X ₄ : Número de Interrupções (un) | 15,4 | 1,0 | 58,0 | 13,9 |
| X ₅ : Tempo de Interrupção (minuto) | 843,7 | 0,0 | 3075,0 | 863,4 |
| Y ₁ : Comprimento Linha Aérea (m) | 41320,8 | 7992,0 | 129291,0 | 31036,4 |
| Y ₂ : Potência Instalada (kVA) | 7818,6 | 2500,0 | 16660,0 | 3813,6 |
| Y ₃ : Postos de Transf. Instalados (un) | 42,9 | 6,0 | 86,0 | 18,2 |

Tabela IX - Descritivo estatístico das DMUs – Zona C em 2008

As 48 DMUs apresentam um grupo mais diversificado de linhas, e apresentam como valores médios de *outputs*:

- comprimento = 41320,8 m;
- potência instalada = 7818,6 kVA;
- postos de transformação instalados = 42,9

e valores médios de *inputs* ;

- custos de manutenção = 5891,3 €
- potência afetada = 181252,3 kVA;
- postos de transformação afetados, 788,5;
- número de interrupções = 15,4;
- tempo de interrupção = 843,7 m.

O desvio padrão é de cerca de 5501 € em manutenção e de 31036,4 m no comprimento da linha. De notar que para uma potência média instalada idêntica às zonas A e B, as DMUs da zona C apresentam valores médios superiores nas restantes variáveis.

| DMU | EFICIÊNCIA | BENCHMARKS |
|-----|------------|---|
| L10 | 43,02% | L12(0,5776) L22(0,2923) L37(0,0221) L4(0,108) |
| ... | ... | ... |
| L66 | 100% | L12(0,0005) L40(0,0002) L66(0,9993) |
| L68 | 79,12% | L12(0,5389) L4(0,353) L44(0,1081) |
| ... | ... | ... |
| L78 | 98,9% | L12(0,9099) L15(0,0821) L40(0,008) |

Tabela X–Eficiência das DMUs agrupadas por Índice Zona C

A Tabela X mostra-nos a taxa de eficiência de algumas DMUs. No conjunto, destacam-se 18 DMUs consideradas eficientes. Nesta Zona as DMUs mais citadas como modelos de aprendizagem são as DMU 12, 4, 40, 22 e 64, com 26, 48, 16, 8 e 7 citações, respetivamente.

| DMU | EFICI* | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ |
|-----|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| L10 | 43,02% | 33% | 33% | 0% | 33% | 0% | 65% | 7% | 27% |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| L66 | 100% | 30% | 30% | 6% | 30% | 6% | 33% | 33% | 33% |
| L68 | 79% | 33% | 33% | 0% | 33% | 0% | 43% | 14% | 43% |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| L78 | 98,9 | 25% | 25% | 0% | 25% | 25% | 63% | 0% | 37% |

Tabela XI- Pesos virtuais *inputs/outputs* - DMUs agrupadas por Índice Zona C

A tabela XI mostra-nos os pesos virtuais das variáveis para cada uma das DMUs da Zona C. A sua interpretação é semelhante à que foi apresentada aquando da discussão dos resultados das Zonas A e B.

Em conclusão, refira-se que os resultados deste primeiro estudo, patentes nas tabelas

apresentadas permitem uma análise global ao desempenho das DMUs no ano em análise, e em particular, aos valores dos pesos ótimos atribuídos por cada DMU às variáveis de *input* e *output*. Esta é uma informação muito preciosa para cada DMU porque permite identificar os seus pontos fortes (*inputs* e *outputs* onde foi atribuído um peso elevado) e os seus pontos fracos (*inputs* e *outputs* onde foi atribuído um peso reduzido). Para além disso, foi também apresentada a informação relativa às DMUs que podem constituir referências para a aprendizagem de cada uma das DMUs ineficientes. Esta é outra peça de informação muito útil, já que permite que cada DMU identifique outras DMUs que lhe são semelhantes e que podem servir como modelos de aprendizagem porque apresentaram taxas de 100%.

É nossa convicção que uma análise cuidada dos resultados do DEA permitirá identificar programas de intervenção a aplicar nos ativos for forma a melhorar a sua taxa de eficiência. Numa primeira fase, poderão ser objeto de estudo mais aprofundado as linhas que apresentaram taxas de eficiência relativa inferior a 50%. A tabela XI apresenta informação relativa aos resultados de algumas dessas linhas nas Zonas A e B.

| DMU | EFICIÊNCIA | BENCHMARKS |
|------|------------|--|
| L38 | 27,86% | L30(0,3561) L47(0,6439) |
| | | |
| L33 | 29,35% | L19(0,2041) L2(0,1895) L30(0,1741) L52(0,4324) |
| | | |
| L49 | 48,43% | L2(0,5188) L59(0,4812) |

Tabela XII- DMUs com eficiência inferior a 50% nas Zona A+B

Por exemplo, A DMU 38 para se tornar eficiente terá de conseguir reduzir os seus inputs para 27,86% dos valores que atingiu em 2008. Estas são as metas que esta linha deve conseguir obter para se tornar eficiente. As DMUs L30 e L47 apresentam características semelhantes às da linha 38, o que as torna modelos úteis de aprendizagem. A eficiência da DMU L38 foi de 27,86 %, devido ao facto de ter tido

maior número de interrupções, um tempo de interrupção bastante longo (736 minutos) e em consequência de avarias, maiores custos de manutenção. A análise a efetuar pelo gestor de manutenção deve focalizar-se nos factos que contribuíram para o n.º elevado de ocorrências. O comprimento da linha, a potência instalada e o número de postos de transformação são características físicas da DMU que o gestor de manutenção deverá rentabilizar ao máximo. Assim, deverá identificar as causas e se necessário, recorrer a medidas suplementares de diagnóstico e de atuação para reduzir os valores dos *inputs*. O tipo de gestão que é feita nas linhas 30 e 47 pode servir de modelo para a linha 38. As medidas profiláticas que forem adotadas para o ativo deverão conduzir a respostas rápidas no melhoramento da sua eficiência.

Resta ainda acrescentar que os participantes nos debates reconheceram que os resultados obtidos para as taxas de eficiência fazem sentido, validando as DMUs classificadas como eficientes e validando os resultados relativos à estrutura de pesos obtida. A identificação das linhas modelo de aprendizagem foi considerado como o resultado mais útil decorrente da aplicação do modelo.

Da análise cuidada que foi feita relativamente à validade dos resultados obtidos neste primeiro estudo e das discussões que foram feitas com o painel de profissionais envolvidos no estudo, chegou-se à conclusão que existe um grupo de 6 linhas com características muito diferenciadas das restantes 73. Desta forma, foi considerado que seria prudente retirar estas 6 linhas das análises de impacto de programa e de tecnologia a efetuar no segundo e terceiro estudo. De seguida passamos à discussão dos objetivos e metodologia usadas nestes dois estudos de impacto, tal como dos resultados obtidos.

4.4. 2º Estudo – Análise comparativa das DMUs em 2006, 2007 e 2008.

O segundo estudo teve como objetivo comparar os resultados das 73 DMUs do cenário anterior, num período de três anos, em 2006, 2007 e 2008 e de avaliar o impacto de alternativas de conceção da rede e do impacto de diferentes estratégias para manutenção.

As Tabelas XIII, XIV e XV apresentam as estatísticas descritivas para as variáveis usadas no modelo DEA para cada um dos três anos analisados relativamente às 73 linhas comparadas. O modelo de análise foi o mesmo utilizado no primeiro estudo (8 variáveis e 10 restrições de peso virtual).

Resumo das estatísticas em 2006, 2007 e 2008

| 2006 | Inputs | | | | | Outputs | | |
|---------------|----------|-----------|---------|-------|---------|-----------|----------|-------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | Y_1 | Y_2 | Y_3 |
| Média | 4335.13 | 162379.77 | 852.25 | 17.29 | 93.289 | 38263.70 | 8214.96 | 40.60 |
| Desvio Padrão | 5434.82 | 148597.98 | 1057.75 | 16.00 | 804.52 | 27996.66 | 4576.38 | 17.41 |
| Máximo | 40954.72 | 563763.00 | 5980.00 | 92.00 | 3043.00 | 129291.00 | 21346.00 | 83.00 |
| Mínimo | 77.27 | 2240.00 | 19.00 | 1.00 | 0.01 | 5477.00 | 1830.00 | 11.00 |

Tabela XIII - Resumo das estatísticas das variáveis para as 73 DMUs em 2006

| 2007 | Inputs | | | | | Outputs | | |
|---------------|----------|-----------|---------|-------|---------|-----------|----------|-------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | Y_1 | Y_2 | Y_3 |
| Média | 7160.12 | 186193.32 | 1031.18 | 20.63 | 789.97 | 38369.90 | 8026.67 | 40.60 |
| Desvio Padrão | 7354.36 | 186818.07 | 1221.53 | 18.17 | 772.95 | 27885.04 | 4230.89 | 17.30 |
| Máximo | 42510.35 | 751050.00 | 6160.00 | 80.00 | 3084.00 | 129291.00 | 21346.00 | 83.00 |
| Mínimo | 355.15 | 500.00 | 11.00 | 1.00 | 0.01 | 5719.00 | 1830.00 | 11.00 |

Tabela XIV – Resumo das estatísticas das variáveis para os 73 DMUs em 2007

| 2008 | <i>Inputs</i> | | | | | <i>Outputs</i> | | |
|---------------|---------------|-----------|---------|-------|---------|----------------|----------|-------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | Y_1 | Y_2 | Y_3 |
| Média | 5130.37 | 125751.67 | 703.93 | 14.47 | 795.60 | 39280.10 | 7919.89 | 41.23 |
| Desvio Padrão | 4831.78 | 122442.59 | 798.10 | 12.13 | 866.04 | 28448.72 | 3614.98 | 17.20 |
| Máximo | 24939.21 | 618811.00 | 4425.00 | 58.00 | 4221.00 | 129291.00 | 16660.00 | 86.00 |
| Mínimo | 282.20 | 3095.00 | 19.00 | 1.00 | 0.01 | 5719.00 | 2500.00 | 14.00 |

Tabela XV – Resumo das estatísticas das variáveis para os 73 DMUs em 2008

| <i>Modelo VRS com orientação input</i> | 2006 | 2007 | 2008 |
|--|--------|--------|--------|
| Média | 44.91% | 55.62% | 53.46% |
| Desvio Padrão | 35.72% | 35.63% | 30.94% |
| Número de DMUs eficientes | 14 | 20 | 15 |
| Valor Máximo | 100% | 100% | 100% |
| Valor Mínimo | 4.53% | 3.63% | 8.03% |

Tabela XVI - Resumo das estatísticas dos resultados de eficiência para as 73 DMUs (anos de 2006 a 2008).

A Tabela XVI apresenta um resumo dos resultados obtidos. Os resultados sugerem que existe um grande potencial de redução de custos e melhoria da qualidade através da amostra das DMUs analisadas. O facto de, por exemplo, em 2008, apenas 15 DMUs terem sido classificadas como eficientes, sugere que as atividades de manutenção realizadas numa parte das DMUs não foram tão eficazes quanto poderiam ser sido. De facto, foi considerado útil realizar novas análises e assim, procurar identificar alguns dos fatores que possam contribuir para uma manutenção mais eficaz.

A fim de contribuir para a compreensão das estruturas e dos mecanismos suporte de

uma prática bem sucedida, na manutenção das DMUs consideradas, desenvolveram-se dois conjuntos de avaliação do programa. O primeiro, analisa o impacto dos diferentes padrões de qualidade de serviço definidos pela Entidade Reguladora Serviço Energético (ERSE), em Portugal. O segundo, analisou o impacto de política específica de manutenção preventiva relativo aos índices de criticidade das DMUs.

Uma questão que se colocou, foi a de saber se as DMUs sobre as quais recai maior exigência de qualidade de serviço (zonas A ou B, definidas pela ERSE) estão também associadas com os níveis mais elevados de eficiência.

Conforme o referido anteriormente, em função do número de clientes, a ERSE exige ao Distribuidor de energia elétrica três parâmetros de qualidade em função das Zonas A, B e C. Qualquer das Zonas poderão ser alimentadas por DMUs caracterizadas por diferentes Índices de Criticidade (IC), às quais se aplicavam diferentes programas de manutenção, sendo o mais exigente para as DMUs com IC=A, seguindo-se IC= B e IC=C.

Para avaliar o impacto das exigências de qualidade em função das diferentes Zonas dos clientes, dividimos uma amostra de 57 DMUs em duas categorias distintas: 28 DMUs que alimentam clientes em zonas A ou B e 29 DMUs que alimentam clientes em zona C. Foram utilizados os dados relativos a 2006, 2007 e 2008, tomando a média simples de cada variável *input* e *output* para esse período. Do conjunto inicial de 73 DMUs foram excluídas 16 DMUs, porque as mesmas viram a sua classificação ser alterada durante o período analisado de três anos.

A fim de analisar o verdadeiro potencial dos padrões de qualidade devido ao fator externo (ERSE), é preciso distinguir entre a eficiência de gestão e eficiência de programação. A Etapa II da metodologia proposta por Brockett e Golany (1996), discutida anteriormente, elimina a ineficiência de gestão. Na Etapa III a análise DEA foi realizada comparando a eficiência de 57 DMUs com os *inputs* ajustados para os níveis eficientes. Como seria de esperar, os níveis de eficiência melhoraram de forma significativa após a remoção da ineficiência de gestão. A fim de avaliar o impacto da imposição externa dos padrões de qualidade, foram analisados os resultados na Etapa III, com as DMUs separadas por área de serviço. A Tabela XVII apresenta estes

resultados.

| <i>Modelo VRS com orientação input</i> | 28 DMUs em areas A ou B | 29 DMUs em area C |
|--|-------------------------|-------------------|
| Média | 98.30% | 85.45% |
| Desvio Padrão | 3.18% | 21.18% |
| Número de DMUs eficientes | 18 | 10 |
| Valor Máximo | 100% | 100% |
| Valor Mínimo | 90.09% | 34.18% |

Tabela XVII - Síntese estatística da eficiência de 57 DMUs programáticas (Etapa III)

Com base nos resultados apresentados verifica-se que a ineficiência de gestão dentro de cada programa foi eliminada e é mostrado o verdadeiro impacto da imposição dos padrões de qualidade por parte da ERSE no grupo de DMUs. Em média, estas DMUs pertencentes às zonas com padrões de qualidade mais exigentes (Zonas A e B) apresentam um nível mais elevado de eficiência. A significância estatística do impacto deste programa pode ser testada por meio da estatística de *rank* de Mann-Whitney. Os resultados obtidos permitem rejeitar a “hipótese nula”, que afirma que as DMUs pertencentes a estes dois grupos apresentam a mesma distribuição dos *scores* de eficiência. O valor obtido para a estatística de teste Z (que segue aproximadamente uma distribuição normal standardizada) foi igual 2,74 (*p-value* de 0,0031). Nesse sentido, a análise efetuada sugere um impacto significativo positivo da imposição de elevados padrões de qualidade (de origem externa, ERSE), os quais têm associados elevadas penalizações nos casos de incumprimento pela EDP Distribuição em relação aos seus clientes. Na verdade, a média das classificações (em termos de ranking) para as DMUs em serviço nas zonas A ou B é de 22,9 e a média das classificações para as DMUs afetas à zona de serviço C é de 34,9, relevando rankings geralmente piores para as DMUs da zona C.

Até ao final de 2008 a EDP Distribuição teve como suporte programas de manutenção preventiva, os quais eram definidos em função dos índices de criticidade das DMUs. Estes, são o resultado de vários fatores de origem externa e interna em cada DMU e são classificados em três níveis de relevância, designados por A, B e C. Os programas de manutenção mais exigentes eram aplicados às DMUs com índices de relevância mais elevados, IC=A e IC=B, com inspeções periódicas, pelo menos uma vez em cada três anos (rastreamento termográfico nos troços principais, por via aérea). As DMUs com IC=C só em casos pontuais eram sujeitas a este tipo de inspeção periódica. Em comum, todas as DMUs eram sujeitas a uma inspeção técnica e visual pelo solo em todo o seu percurso, com periodicidade anual. Para identificar o impacto das ações de manutenção preventiva nas condições indicadas, identificamos 63 DMUs que mantiveram o seu nível de relevância no período dos três anos estudados (2006 a 2008). A partir desta amostra identificamos 21 DMUs que apresentaram os dois níveis mais relevantes e 42 DMUs com o nível menos significativo. A fim de evitar o enviesamento na “avaliação do programa” que pode surgir quando são comparados dois grupos de diferentes dimensões (como o discutido por Sympson 2005 e 2007), foram selecionadas aleatoriamente 21 DMUs pertencentes ao mais baixo nível de relevância. Os resultados dessa amostra aleatória de 21 DMUs foram comparados com os resultados das outras 21 DMUs assim como um resumo das estatísticas, tendo os mesmos sido muito semelhantes, confirmando o não enviesamento na seleção da amostra. Os dois subgrupos de DMUs que foram utilizados para avaliar o programa de manutenção preventiva foram, portanto, constituídas por 21 DMUs com os índices de criticidade mais relevantes, IC=A ou IC=B, e outras 21 DMUs com o índice de criticidade menos relevante, IC=C.

A fim de avaliar o impacto dos programas de manutenção preventiva baseados no tempo, foram analisados os resultados da Etapa III da metodologia de programa proposta por Brockett e Golany (1996), com as DMUs separadas por índice de criticidade. A tabela XVIII apresenta esses resultados.

| <i>Modelo VRS com orientação input</i> | 21 DMUs com inspeção termográfica periódica | 21 DMUs sem inspeção termográfica periódica |
|--|---|---|
| Média | 65.53% | 60.07% |
| Desvio Padrão | 32.75% | 28.01% |
| Número de DMUs eficientes | 8 | 4 |
| Valor Máximo | 100% | 100% |
| Valor Mínimo | 16.48% | 16.04% |

Tabela XVIII - Síntese estatística da eficiência de programação de 42 DMUs (Etapa de programação III)

Os resultados apresentados permitem concluir que, mesmo após o ajuste do programa de ineficiência de gestão, os dois subgrupos de DMUs apresentam níveis relativamente baixos de eficiência. Apesar de apresentarem uma média ligeiramente superior de resultados de eficiência e uma classificação média ligeiramente superior (21 contra 23), o teste de *rank* de Mann-Whitney sugere que o impacto do programa de manutenção preventiva periódica de termografia aérea não é estatisticamente significativo. Os resultados obtidos não permitem rejeitar a "hipótese nula", que afirma que as linhas pertencentes a estes dois grupos têm a mesma distribuição dos *scores* de eficiência. Na verdade, o valor obtido para a estatística de teste Z (que segue aproximadamente uma distribuição normal standardizada) foi igual a 0,54 (p-value de 0,7). A este respeito, a análise efetuada não sugere um impacto positivo significativo desta política de manutenção preventiva.

A reestruturação da EDP Distribuição com a criação da Direção de Manutenção, teve como consequência prática a alteração da manutenção preventiva periódica baseada nos índices de criticidade das DMUs. A partir de janeiro de 2009 a manutenção preventiva deixou de atender aos índices de criticidade das DMUs para passar ser focada no conhecimento da condição das DMUs e do conhecimento do seu desempenho anterior. As DMUs que apresentem níveis de desempenho menos conseguidos poderão ser um potencial alvo para ações mais ou menos profundas de manutenção (reabilitação ou substituição).

De seguida discute-se os objetivos, metodologia usada e resultados obtidos com o terceiro estudo efetuado com o DEA. Enquanto que o primeiro estudo efetuado se focou nos dados de 2008, e o segundo estudo analisou a média dos valores do triénio 2006 a 2008, neste terceiro estudo foi feita uma análise dinâmica com base nos resultados do Índice de Produtividade de Malmquist para analisar o impacto de uma tecnologia específica.

4.5. 3º Estudo – Análise de produtividade das DMUs 2007 e 2008.

Uma decisão importante em relação à conceção de sistemas de distribuição de energia elétrica é o investimento em equipamentos de órgão de corte e religação (OCR) que podem ser instalados nas linhas. Apesar de ser um investimento significativo, considera-se que este equipamento pode reduzir os efeitos das interrupções de longa duração, pois, de acordo com alguns estudos (ver, por exemplo, Weedy 1972: 26), cerca de 90% das falhas de fornecimento de energia nas DMUs poderiam ser solucionadas por ação dos OCR. A EDP Distribuição tem vindo a investir de forma significativa nesta área tecnológica e planeia a sua expansão, com gastos de 4,4 milhões de euros em 2009, 8 milhões de Euros em 2010 e 9,5 milhões de Euros em 2011 (EDP - PDIRD 2009-11).

De acordo com o plano apresentado, é de grande interesse investigar o impacto desta tecnologia sobre a eficiência das DMUs. Com o fim de avaliar o impacto da instalação desta tecnologia, desenvolveu-se uma análise dinâmica usando o Índice de Produtividade de Malmquist e seus componentes para os anos de 2007 e 2008. A fim de ter algumas conclusões sobre o impacto da instalação desta tecnologia, foram identificados três grupos de DMUs que são de especial interesse para análise. O primeiro grupo é constituído por 13 DMUs que não tinham a tecnologia OCR, em 2007, e que beneficiaram da instalação dessa tecnologia em 2008. O segundo grupo é constituído por 27 DMUs que não tinham a tecnologia OCR em 2007 e permaneceram sem essa tecnologia em 2008. Finalmente, o terceiro grupo é constituído por 17 DMUs que já tinham um certo número de equipamentos de OCR instalados em 2007 e mantiveram o mesmo número em 2008. Os três grupos foram

compostos por 57 DMUs. As restantes 16 DMUs (a partir da amostra total de 73 comparadas) são aquelas que já tinha um certo número de equipamentos de OCR instalado em 2007 e beneficiaram de intervenções no equipamento ao longo de 2008.

As 73 DMUs foram comparados para os anos de 2007 e 2008, tendo o Índice de Produtividade de Malmquist e seus componentes sido calculados para cada um deles. As estatísticas de resumo dos resultados do Índice de Produtividade de Malmquist para as 73 DMUs são apresentados na Tabela XVIII e os resultados para os três grupos descritos anteriormente são apresentados nas Tabelas XX, XXI e XXII. A média geométrica foi calculada, em vez da média aritmética usual, devido às suas propriedades desejáveis para analisar os índices.

| <i>Modelo VRS com orientação input</i> | Eff. score_2007 | Eff. score_2008 | C | F | MPI |
|--|--------------------|--------------------|------|------|------|
| Média Geometrica | 40.6% | 42.85% | 1.06 | 1.09 | 1.15 |
| Máximo | 100% | 100% | 4.79 | 3.66 | 6.83 |
| Mínimo | 3.63% | 8% | 0.25 | 0.46 | 0.35 |

Tabela XIX - Resumo estatístico dos resultados de produtividade de 73 DMUs (anos: 2007-2008).

| <i>Modelo VRS com orientação input</i> | Eff. score_2007 | Eff. score_2008 | C | F | MPI |
|--|-----------------|-----------------|------|------|------|
| Média Geometrica | 39.02% | 43.05% | 1.10 | 0.99 | 1.10 |
| Máximo | 100% | 100% | 4.45 | 3.66 | 4.73 |
| Mínimo | 7.24% | 12.74% | 0.48 | 0.46 | 0.45 |

Tabela XX - Resumo estatístico dos resultados de produtividade para as 27 DMUs que ficaram sem equipamento OCR em 2008.

| <i>Modelo VRS com orientação input</i> | Eff. score_2007 | Eff. score_2008 | C | F | MPI |
|--|-----------------|-----------------|------|------|------|
| Média Geometrica | 41.34% | 41.96% | 1.01 | 1.17 | 1.18 |
| Máximo | 100% | 99.94% | 4.79 | 1.50 | 6.83 |
| Mínimo | 7.77% | 13.14% | 0.39 | 0.86 | 0.45 |

Tabela XXI - Resumo estatístico dos resultados de produtividade para as 13 DMUs que beneficiaram da instalação de OCR em 2008

| <i>Modelo VRS com orientação input</i> | Eff. score_2007 | Eff. score_2008 | C | F | MPI |
|--|-----------------|-----------------|------|------|------|
| Média Geometrica | 36.61% | 45.89% | 1.25 | 1.17 | 1.47 |
| Máximo | 100% | 100% | 3.81 | 2.17 | 3.37 |
| Mínimo | 3.63% | 13.83% | 0.42 | 0.67 | 0.43 |

Tabela XXII - Resumo estatístico dos resultados de produtividade para as 17 DMUs que já tinham equipamentos de OCR em 2007 e que os mantiveram em 2008

A análise dos resultados obtidos com a comparação das 73 DMUs permite verificar que, entre 2007 e 2008, este setor foi beneficiado com melhorias significativas na produtividade (MPI média = 1,15), que pode ser explicado por uma combinação de um efeito de aproximação à fronteira com um efeito de deslocamento da fronteira. Este é um resultado esperado, considerando que EDP Distribuição tem vindo a trabalhar arduamente para a melhoria da qualidade dos serviços prestados.

Pela análise de resultados dos três grupos específicos de DMUs, confirma-se que o grupo de 13 DMUs, nas quais foram instalados OCR, apresenta, em média, uma maior melhoria de produtividade do que o apresentado por aqueles que ficaram sem este tipo de equipamento (MPI média = 1,18, quando comparado com um MPI média = 1,10). Estas melhorias na produtividade, para as DMUs que foram beneficiadas com a instalação de OCR são provenientes, principalmente, a partir de um deslocamento favorável da fronteira em torno dessas DMUs, que foram capazes de acompanhar o nível de avanço tecnológico, apesar de não alcançarem o estatuto de eficiência. Outro grupo de DMUs que mostram melhorias significativas na produtividade é o grupo constituído por DMUs que já tinham essa tecnologia em 2007 e mantiveram o número de equipamentos instalados. De facto, este é o grupo de DMUs que apresenta a maior taxa média de aumento de produtividade, derivada de ambos os efeitos de aproximação à fronteira e de deslocamentos da fronteira. Além disso, podemos confirmar que as linhas que respeitem as condições para serem consideradas inovadoras pertencem a este grupo. Isto pode sugerir que a introdução desta tecnologia tem um impacto positivo sobre o desempenho, que continua a ser perceptível no médio e longo prazo.

Estes resultados confirmam as melhorias de produtividade que ocorreram nesta região de serviço da EDP Distribuição e parecem sugerir que a instalação deste tipo de equipamento pode contribuir para melhorar a eficiência das DMUs, apesar do custo de manutenção relativamente alto que este equipamento envolve. Para confirmar esse impacto, será necessário efetuar uma análise mais aprofundada dos resultados nos próximos anos. Nesta análise deverá ser considerado o custo de instalação e dos equipamentos, a fim de avaliar o impacto líquido do investimento. Este tipo de custos poderão ser incluídos numa análise DEA através de uma estimativa do custo de depreciação dos equipamentos instalados em cada DMU.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como salientado por Triantis (2004), embora a medição da eficiência com o DEA tenha sido uma área de investigação muito frutífera, o uso desta técnica para avaliar alternativas nos processos de produção e prestação de serviços tem sido escasso. Neste contexto, este trabalho abordou uma área importante em que o impacto de alternativas de conceção e de intervenção foi investigado, numa determinada região de serviço da EDP Distribuição.

O estudo permite concluir que o DEA tem um potencial significativo para contribuir para a aprendizagem organizacional e para a melhoria de desempenho. Isto pode ser conseguido através de intervenções eficazes nos processos, com base numa melhor compreensão do impacto de diferentes estruturas, processos e procedimentos.

Em primeiro lugar, a análise comparativa das DMUs agrupadas por zonas de qualidade externa definidas pela Entidade Reguladora (ERSE), permitiu identificar as metas a alcançar, a estrutura ótima de pesos para as variáveis e os modelos de aprendizagem a seguir pelas DMUs ineficientes. Foi sugerido que estes resultados poderiam ser alvo de uma análise cuidada por parte do gestor da manutenção, focando numa primeira fase, por exemplo, nas linhas que apresentem eficiências relativas inferiores a 50%, com vista a delinear planos de melhoria de desempenho.

Em segundo lugar, é de salientar que, ao contrário do que é habitual na literatura do DEA, neste trabalho não nos focamos na produção de rankings de eficiência das várias DMUs. Pelo contrário, o nosso objetivo foi o de contrastar a eficiência de grupos de DMUs pertencentes a diferentes conceções do sistema e diferentes alternativas de programas de manutenção. Em particular, foi utilizada a metodologia de avaliação de programa, proposta por Brocket e Golany (1996) para estudar o impacto da imposição de normas de qualidade externa (impostas pela ERSE) e o impacto de uma política específica de manutenção preventiva. Esta análise de impacto de programa permitiu concluir que a imposição externa de critérios de qualidade por parte da Entidade reguladora do setor permite obter níveis de eficiência mais elevados.

Em terceiro lugar, foi feita uma análise dinâmica dos dados de 2007 e 2008 com o

Índice de Produtividade de Malmquist, para estudar o impacto do investimento numa tecnologia específica (a instalação de “OCRs”) nas DMUs. Esta análise dinâmica permitiu concluir que a instalação desta tecnologia parece estar associada a ganhos de produtividade.

Com estes três estudos foi possível verificar o elevado potencial do DEA para contribuir para a melhoria da gestão no contexto da manutenção de ativos de distribuição de energia elétrica. A realização deste tipo de análise pode ser estendida no contexto da distribuição de energia elétrica a outras alternativas de conceção dos sistemas e a outros programas, a fim de compreender melhor as estruturas e os mecanismos por trás das melhores práticas. Além disso, este tipo de análise pode também ser realizado em outros contextos, em que o analista possa ter acesso a dados apropriados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avkarin NK e Parker BR (2010). Pushing the DEA research envelope. *Socio-Economic Planning Sciences* 44: 1-7.

Banker RD, Charnes A e Cooper WW (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30: 1078-1092.

Brockett PL e Golany B (1996). Using rank Statistics for determining Programmatic Efficiency Differences in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 42 (3): 466-472.

Charnes A, Cooper WW e Rhodes E (1978). Measuring the efficiency of decision making unites. *European Journal of Operational Research* 26(6): 429–444.

Charnes A e Rhodes E (1981). Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through. *Management Science*, 27 (6), 668-697.

Cook, WD e Seiford LM (2009). Data Envelopment Analysis (DEA) – Thirty Years On”, *European Journal of Operational Research* 192: 1-17.

Cooper WW, Seiford L e Tone K (2007). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. 2.nd Edition. Kluwer Academic Publishers: Massachusetts.

EDP Energias de Portugal (2009). Electricity Distribution. Document available online at:

<http://www.edp.pt/en/aedp/unidadesdenegocio/distribuicaoedelectricidade/Pages/Distribuicao.aspx>. Accessed 10th November 2010.

EDP – PDIRD 2009-2011. Plano de Desenvolvimento e Investimento da Rede de Distribuição 2009-2011.

Färe R, Grosskopf S, Norris M e Zhang Z (1994). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. *The American Economic*

Review 84 (1): 66-83.

Heizer J e Render B (2010). Operations Management. Pearson Education, USA, 10th edition, chapter 17.

Kumbhakar SC e Hjalmarsson L (1998). Relative performance of public and private ownership under yardstick competition: electricity retail distribution. *European Economic Review* 42: 97-122.

Manganye MF e Tlabela PM (2008). The importance of maintenance activities and negative contributing factors faced by electricity distribution maintenance industry. *Electricity Distribution Maintenance Summit – Day 2: 10 June 2008, South Africa*. Document available online at: <http://www.nersa.org.za/> Accessed 7 December 2010.

Santos SP, Amado CAF e Rosado JR (2010). Formative evaluation of electricity distribution utilities using data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society* :1-22.

Sarrico C e Dyson RG (2004). Restricting Virtual Weights in Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 159, 17:34.

Sympson G (2005). Programmatic efficiency comparisons between unequally sized groups of DMUs in DEA. *Journal of the Operational Research Society* 56: 1431-1438.

Sympson G (2007). A cautionary note on methods of comparing programmatic efficiency between two or more groups of DMUs in data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*. 28: 141-147.

Triantis KP (2004). Engineering Applications of DEA, In: Cooper WW, LM Seiford and J Zhu, Editors, *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Kluwer's International series: London.

Weedy BM (1972). *Electric Power Systems*. Second Edition, John Wiley and Sons: London.

Weyman-Jones TG, Boucinha J e Inácio CF (2008). Efficiency Analysis of Maintenance and Outage Repair in Electricity Distribution. *Portuguese Journal of Management Studies* XIII: 89–110.