

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SUBESTAÇÕES – UMA APLICAÇÃO DE DEA EM UMA EMPRESA DO SETOR DE ENERGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Fernanda Fidelis Paschoalino¹, Nissia Carvalho Rosa Bergiante²,
Luiz Biondi Neto³, Lidia Angulo Meza⁴, Jacqueline Vianna Costa Pinto⁵,
João Carlos Correia Baptista Soares de Mello⁶, Osvaldo Ribeiro da Cruz Filho⁷,
David Targueta da Silva Targueta da Silva⁸

Universidade Federal Fluminense^{1 2 4 6}, Universidade do Estado do Rio de Janeiro³, AMPLA⁵,
CEFET/RJ⁷, São Simão Montagens e Serviços Ltda⁸

fernandapaschoalino@hotmail.com¹, nissia.rosa@gmail.com², luizbiondi@terra.com.br³,
lidia_a_meza@pq.cnpq.br⁴, jpinto@ampla.com⁵, jpinto@ampla.com⁶, osvaldocruz@globo.com⁷,
dtsilva@ssimao.com.br⁸

RESUMO

O objetivo deste artigo é investigar o desempenho de algumas Subestações de Energia de uma distribuidora localizada no Estado do Rio de Janeiro utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA). O modelo utiliza como *inputs* os custos totais de investimento e manutenção e, como *outputs* indesejáveis, a quantidade e duração totais das falhas dos equipamentos. Foram propostos dois modelos. No primeiro, os dados utilizados foram totais por Subestação e no segundo, total por tipo de equipamento. Ambos os modelos permitiram a ordenação das DMU por eficiência. Considerando que as Subestações apresentam falhas em diferentes equipamentos, foi feita uma clusterização das DMU para obter *benchmarks* mais confiáveis.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados, Modelo BCC, Subestações, Manutenção

ABSTRACT

The aim of this article is evaluate the performance of some Electrical Substations of a distribution Company located in Rio de Janeiro using Data Envelopment Analysis. The model uses as *inputs* the total costs of investment and maintenance, and as undesirable *outputs*, the total number and the duration of equipments' fails. We had investigated two models. In the first approach data were used per substation. In the second, data were used class of equipment of each substation. In both models DMU were grouped per efficiency rate. Taking into consideration that substations have fails in different equipments, we have also grouped the DMU in clusters to obtain reliable *benchmarks*.

Key-words: Data Envelopment Analysis, VRS Model, Substations, Maintenance

1. Introdução

A obtenção de energia elétrica advém da geração de diferenças de potencial elétrico entre dois pontos, que permite estabelecer uma corrente elétrica entre ambos. Quando submetida à transformação adequada é possível obter essa energia sob formas de uso direto como luz, movimento, calor, dentre outras. É o tipo de energia mais utilizado na atualidade devido a sua facilidade de transporte e baixo índice de perda energética durante as conversões. São exemplos de fontes alternativas geradoras de energia elétrica as usinas termoeletricas, hidrelétricas, eólicas, termonucleares, dentre outras.

As principais tecnologias de geração aproveitam o movimento de rotação das turbinas para gerar corrente alternada em um gerador. O acionamento das turbinas pode ser oriundo de uma fonte de energia mecânica direta, como, por exemplo, a corrente de uma queda d'água ou da ação do vento, ou de energia mecânica oriunda de um ciclo termodinâmico movido pelo calor obtido no processo da queima de combustíveis fósseis, reações nucleares, dentre outros.

A energia gerada é então transportada pelas linhas de transmissão desde as unidades de geração até os grandes centros de consumo. Para efetivar esse transporte, o Sistema Elétrico Brasileiro possui uma rede de transmissão de energia elétrica e após ela, uma rede de distribuição, esta última sob responsabilidade das companhias distribuidoras de eletricidade. As Subestações de Energia podem ser classificadas sob duas formas: Elevadoras e Abaixadoras. As SE's elevadoras ficam próximas às unidades geradoras e possuem uma tensão de saída na ordem de 500kV/750kV. Já as SE's abaixadoras ficam próximas aos consumidores, e normalmente distribuem energia na ordem de 13,8kV.

A rede de distribuição atende a superfície dos grandes centros de consumo, conjugando as subestações com os transformadores de distribuição, sendo este o último estágio de redução de tensão. As tensões, ao saírem destes transformadores são rebaixadas a tensões de (127/220V ou 220/380V).

As subestações estão relacionadas à distribuição e por isso faz-se relevante a compreensão mais aprofundada a respeito de seu desempenho, pois contribui para a busca de melhorias de performance dos elos formadores da cadeia de suprimento de energia do Setor Elétrico Brasileiro.

Diversos autores têm mostrado interesse em estudar o desempenho de subestações e outros integrantes do setor de energia elétrica com o objetivo de verificar possíveis opções de melhoria da eficiência operacional, mudanças no planejamento, avaliação de mudanças nas regulações do setor etc. (Arcoverde et al, 2006; Grösche, 2009; Jamas e Pollit, 2009; Nanci et al, 2003, Pérez-Reyes e Tovar, 2003; Pombo e Tabora, 2006).

Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo investigar o desempenho de 15 subestações de energia de uma empresa distribuidora de energia elétrica no Estado do Rio de Janeiro. Essa análise avalia as questões relacionadas aos custos de investimento e manutenção dos equipamentos das subestações, bem como à quantidade e duração das falhas desses equipamentos, assumindo que as questões relacionadas às falhas são variáveis indesejáveis do processo produtivo. Para tal, foram propostos dois modelos utilizando Análise Envoltória de Dados, adotando como *inputs* os custos de investimento e manutenção e, como "*outputs* indesejáveis" a quantidade e duração das falhas. O primeiro modelo compara os custos e falhas totais de cada Subestação. O segundo modelo propõe uma análise de eficiência de subestação com relação a um determinado tipo de equipamento. Foi escolhido o equipamento disjuntor por ser a variável de maior frequência no rol de subestações analisadas.

O artigo é organizado em quatro seções adicionais a esta. Na seção 2 descreve-se o modelo DEA aplicado, neste caso, o modelo DEA VRS (*Variable Returns to Scale*) orientado a *output*, bem como se apresenta os dados do problema tratado. Na seção 3 é apresentada uma análise dos resultados dos cálculos das eficiências obtidos através do uso do software SIAD (Sistema Integrado de Apoio a Decisão). Para um maior detalhamento do funcionamento do software utilizado neste artigo ver Angulo-Meza et al (2003).

Para as análises do estudo de caso apresentado foram utilizados os dados fornecidos por uma empresa distribuidora localizada no Estado do Rio de Janeiro.

2. Modelos DEA e dados do problema

Segundo Soares de Mello et al (2005), a análise envoltória de dados vem do inglês DEA (*Data Envelopment Analysis*) e é uma ferramenta matemática usada para identificar a eficiência de unidades produtivas através da comparação entre suas quantidades de insumos e produtos. Essa comparação é feita dentro do grupo de unidades de análise definido e permite o estudo de metas e referenciais (*benchmarking*) para a melhoria do desempenho. Essa melhoria estaria então associada à produção de uma mesma quantidade de produto, dada uma redução na quantidade original de insumos, ou, para uma mesma quantidade de insumos, ter-se uma produção maior do que a anterior.

Essa abordagem, desenvolvida por Charnes et al (1978), tem por objetivo comparar as unidades de análise (DMU – *Decision Making Unit*) que, embora possuam atividades similares, tornam-se diferentes ao utilizar-se de quantidades diferentes de seus insumos de produção e seus produtos também serem produzidos em quantidades distintas. (Soares de Mello et al, 2005),

Os modelos CCR e BCC são os mais clássicos na abordagem de Análise Envoltória de Dados. O primeiro, modelo CCR ou CRS (*Constant Returns to Scale*) proposto por Charnes et al (1978), considera a construção de uma superfície linear por partes, não paramétrica, que envolve os dados. Este modelo supõe retornos constantes de escala, no qual, as variações de saídas produzidas (*outputs*) são proporcionais a quaisquer variações nas entradas (*inputs*).

O segundo modelo clássico é o BCC, assim chamado devido ao nome de seus criadores Banker et al (1984) é também conhecido por VRS (*Variable Returns to Scale*). Este modelo considera retornos variáveis de escala, obrigando que a fronteira seja convexa. Essa consideração permite que, para DMU com *inputs* com valores baixos, os retornos sejam de escala crescente e, no caso de DMU com altos valores de *input*, os seus retornos sejam de escala decrescente. Assim, ao obrigar que a fronteira seja convexa, o modelo BCC substitui o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade.

Tanto o modelo DEA-CCR quanto o DEA-BCC podem ser orientados a *inputs* ou a *outputs*. Essa orientação diz respeito à melhoria da eficiência, associando-a a uma redução dos insumos ou aumento dos produtos. Quando orientado a *inputs*, o modelo tem por objetivo a minimização dos insumos como meio de atingir uma melhor eficiência. Se orientado a *output*, deseja-se maximizar os produtos mantendo as entradas inalteradas.

Para o atendimento ao objetivo central deste trabalho, será usado o modelo BCC porque não há proporcionalidade entre as variáveis e a orientação escolhida será a *output*. Essa escolha será justificada mais adiante, ao serem definidos os *inputs* e *outputs* do caso estudado. Logo abaixo (1) segue a formulação do modelo VRS para cada DMU, de acordo com (Lins e Angulo-Meza, 2000).

$$\max h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} - u_*$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{io} = (1)$$

$$\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} - u_* \leq 0, \quad k = 1 \dots s$$

$$u_j, v_i \geq 0, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots m$$

$$u_* \in \Re$$

Neste modelo, para a DMU o em análise, a eficiência é dada por h ; x_{ik} representa o *input* i da DMU k ; y_{jk} representa o *output* j da DMU k ; v_i e u_j representam os pesos dados aos *inputs* i e aos *outputs* j , respectivamente; u_* é um fator de escala (quando positivo, indica que a DMU está em região de retornos decrescentes de escala; se negativo, os retornos de escala são crescentes). Se o h é igual a 1, a DMU o em análise é considerada eficiente. As variáveis de decisão do PPL (1) são v_i , u_j e u_* . De forma não matemática, no modelo VRS uma DMU é eficiente se, na escala em que opera, é a que melhor aproveita os *inputs* de que dispõe.

Entretanto, Mello et al (2008) abordam o uso da fronteira invertida, (Yamada et al., 1994; Entani et al., 2002; Leta et al., 2005; Lins et al., 2005), que tem por vantagem o aumento da capacidade discriminatória do modelo DEA. A fronteira invertida tem como pressuposto a inversão de *inputs* com *outputs*, é então composta pelas DMU com os piores resultados, formando uma fronteira que permite a análise da ineficiência dessas unidades. Assim, o estudo das DMU seria complementado por um índice, chamado de índice de eficiência composta, que expressa o resultado da média aritmética de dois fatores: (a) o resultado da eficiência calculado pela fronteira DEA convencional e (b) o complemento da eficiência em relação à fronteira invertida e que pode ser observada em (2).

$$\text{eficiência composta} = \frac{[\text{eficiência composta} + (1 - \text{eficiência invertida})]}{2} \quad (2)$$

Essa eficiência composta pode ser normalizada a fim de se obter um índice de valor unitário para as unidades eficientes. Um interessante exemplo sobre o uso da fronteira invertida é encontrado em Angulo-Meza et al (2007), que também discutiu a respeito da eficiência no setor da Energia Elétrica. Neste trabalho, a eficiência composta normalizada é denominada eficiência composta*.

Se o modelo é orientado a *input*, a função objetivo irá reduzir *inputs* para alcançar uma melhor eficiência. Por outro lado, se é orientado a *output*, a função objetivo irá maximizar *outputs* mantendo os *inputs* constantes. Assim, ao maximizar o *output* Y na forma esquematizada em (3), o *output* indesejável é minimizado, e sua relação causal é preservada. No entanto, deve-se registrar que existem outras formas de tratar *outputs* indesejáveis. Ver, por exemplo, Gomes e Lins (2008).

$$(3)$$

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

$$Y = \frac{1}{\text{Output Indesejável}}$$

Os dados usados neste estudo foram fornecidos pela área de Processo de Engenharia e Obras de uma empresa distribuidora de energia e cobrem um universo de 8 subestações desta empresa. Essas subestações distribuem energia para 66 municípios na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro cobrindo 73% do território estadual, segundo informações também fornecidas pela empresa. As informações coletadas que serão utilizadas neste trabalho podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados fornecidos pela empresa

SE's	Ano de Construção	Localização (Município)	Valor do Empreendimento (R\$)	Custo Anual de Manutenção (R\$)
A	2000	Campos dos Goitacazes	1.087.721,47	2.566,70
B	1997	São Gonçalo	4.951.550,79	9.015,55
C	2002	Bom Jesus de Itabapoana	1.356.034,04	5.413,11
D	1997	Duque de Caxias	4.990.868,03	9.465,97
E	1997	Araruama	1.436.801,72	3.656,98
F	2006	Campos dos Goitacazes	3.600.941,77	10.717,13
G	2007	Campos dos Goitacazes	2.562.273,27	5.643,08
H	1997	São Gonçalo	8.016.117,82	6.229,62
I	2006	Macaé	6.816.019,90	4.941,51
J	2000	Niterói	4.840.530,41	5.842,35
K	1999	Maricá	2.112.017,87	3.407,66
L	2006	Parati	3.666.445,67	2.920,60
M	2000	Campos dos Goitacazes	6.919.752,96	11.551,24
N	2004	São Pedro da Aldeia	14.096.534,12	13.044,03
O	1996		305.213,37	837,69
P	2000	Campos dos Goitacazes	1.162.661,96	3.407,66
Q	2001	Cabo Frio	1.692.359,26	3.791,35
R	1998	Itaboraí	8.985.914,39	13.276,67

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Além das informações gerais expressas na Tabela 1, também foram utilizadas a quantidade e a duração total de falhas ocorridas nestas subestações. Esses dados foram obtidos para quase todas as subestações, com exceção de três SEs: *C*, *G* e *I*, que foram retiradas da análise. Para facilitar a sua visualização, os dados das outras 15 subestações estão expressos resumidamente na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo do Número e Tempo de Falhas das SE

SE`s	Ano de Construção	Localização (Município)	Valor do Empreendimento (R\$)	Custo Anual de Manutenção (R\$)	Número Total de Falhas	Tempo Total de Falhas
A	2000	Campos dos Goitacazes	1.087.721,47	2.566,70	132	6,5
B	1997	São Gonçalo	4.951.550,79	9.015,55	151	2,0
D	1997	Duque de Caxias	4.990.868,03	9.465,97	83	1,4
E	1997	Araruama	1.436.801,72	3.656,98	66	4,9
F	2006	Campos dos Goitacazes	3.600.941,77	10.717,13	250	8,3
H	1997	São Gonçalo	8.016.117,82	6.229,62	98	2,2
J	2000	Niterói	4.840.530,41	5.842,35	77	0,7
K	1999	Maricá	2.112.017,87	3.407,66	124	1,8
L	2006	Parati	3.666.445,67	2.920,60	123	4,9
M	2000	Campos dos Goitacazes	6.919.752,96	11.551,24	204	8,9
N	2004	São Pedro da Aldeia	14.096.534,12	13.044,03	153	3,0
O	1996		305.213,37	837,69	26	12,7
P	2000	Campos dos Goitacazes	1.162.661,96	3.407,66	112	4,2
Q	2001	Cabo Frio	1.692.359,26	3.791,35	217	5,3
R	1998	Itaboraí	8.985.914,39	13.276,67	182	1,4

É importante notar que a quantidade e a duração das falhas representam o total de ocorrências de cada subestação e são referentes a todos os seus equipamentos. Ao observar quais os tipos de falhas mais comuns nas subestações, encontrou-se que falhas nos disjuntores ocorriam em todas as subestações estudadas, enquanto outros equipamentos apresentavam falhas em apenas algumas SE.

Assim, de modo a permitir a comparação entre o número e o tempo de falhas entre as SE, sugeriu-se a análise da eficiência das Subestações apenas para o equipamento do tipo Disjuntor, pois foi o que apresentou maior frequência das ocorrências observadas no histórico analisado, sendo uma falha constante em todas as subestações avaliadas, conforme pode-se observar na Figura 1.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

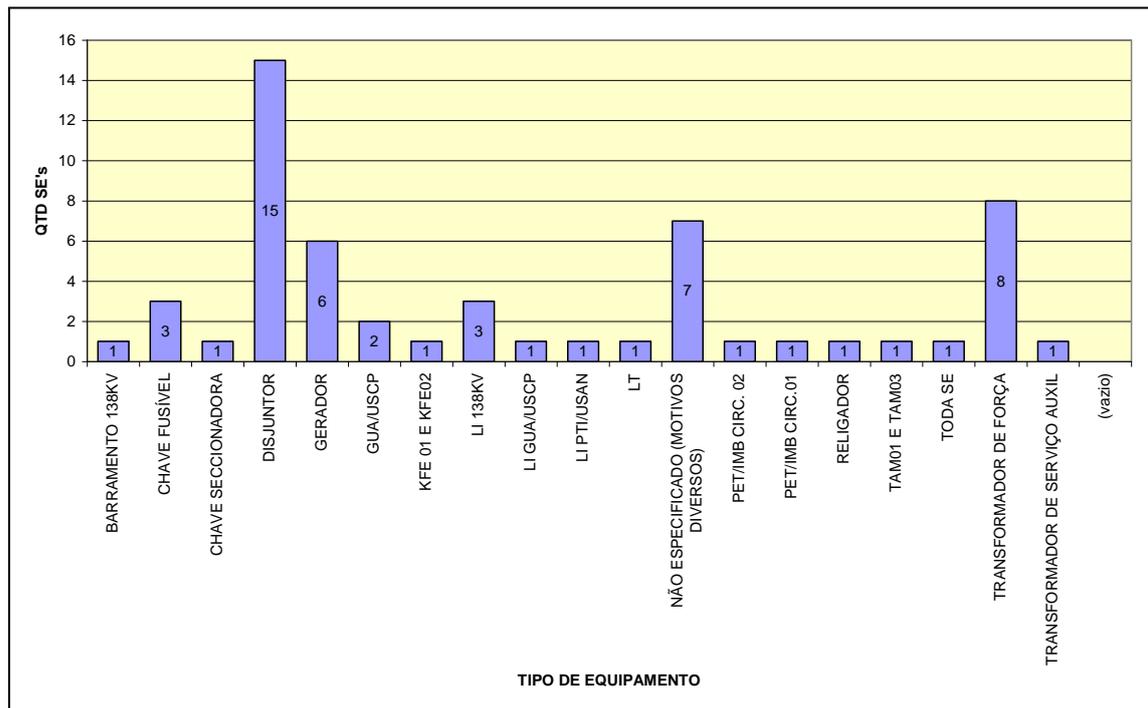


Figura 1- Tipos de Falhas por Quantidade de SE

Neste sentido foi preciso então rever o número e o tempo de falhas, apresentados inicialmente, considerando apenas as falhas ocorridas no equipamento Disjuntor. Também foi levantado o valor contábil de cada uma das subestações de modo a utilizar na análise não apenas o investimento inicial, mas também o valor atual de cada uma delas. Esses dados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3- Número e Tempo de Falhas no Equipamento Disjuntor por SE

SE's	Idade SE [anos]	Valor Contábil do Empreendimento	Número Total de Falhas	Tempo Total de Falhas
A	9	107.153,25	104	4,8
B	12	115.690,60	130	2,0
D	12	181.173,22	81	1,4
E	12	63.542,72	64	4,8
F	3	-	239	8,1
H	12	167.751,90	96	2,1
J	9	200.449,72	77	0,7
K	10	43.156,22	124	1,8
L	3	-	117	4,7
M	9	121.087,56	199	8,7
N	5	1.342.702,83	141	2,9
O	13	20.653,87	23	12,4
P	9	64.138,50	92	2,9
Q	8	35.762,69	208	5,2
R	11	625.542,46	167	1,3

Não foram disponibilizados os valores contábeis para as SE DIC e Mambucada. Assim, para a análise, essas SE não serão consideradas. A partir dos dados disponibilizados, foram definidos dois modelos.

Modelo 1

Análise das eficiências das subestações considerando o valor do empreendimento e os custos anuais de manutenção como *inputs* e número e tempo total de falhas como *outputs*. Para esta análise foram definidas as variáveis que constam da Tabela 4.

Tabela 4 – Modelo 1: *Inputs* e *Outputs*

<i>Inputs</i> ^a	<i>Outputs</i> ^b
X ₁ = valor do empreendimento	Y ₁ = 1/número total de falhas
X ₂ = custo anual de manutenção	Y ₂ = 1/tempo total de falhas

^a Esses valores foram divididos por mil.

^b Esse número e tempo total de falhas é para o equipamento disjuntor. Para *outputs* serão considerados o inverso dos produtos, por serem saídas não desejadas e, neste sentido, o problema deseja minimizá-las.

Como ilustração, para a DMU A, o modelo matemático é representado na equação (4) a seguir:

$$\begin{aligned}
 \max h_0 &= \frac{1}{132}u_1 + \frac{1}{6,5}u_2 - u_* \\
 \text{sa} \\
 1.087.721,47v_1 + 2.566,07v_2 &= 1 \\
 \frac{1}{132}u_1 + \frac{1}{6,5}u_2 + \frac{1}{151}u_3 + \frac{1}{2}u_4 + \frac{1}{83}u_5 + \frac{1}{1,4}u_6 + \frac{1}{66}u_7 + \frac{1}{4,9}u_8 \\
 + \frac{1}{250}u_9 + \frac{1}{8,3}u_{10} + \frac{1}{98}u_{11} + \frac{1}{2,2}u_{12} + \frac{1}{77}u_{13} + \frac{1}{0,7}u_{14} + \frac{1}{124}u_{15} + \frac{1}{1,8}u_{16} \\
 + \frac{1}{123}u_{17} + \frac{1}{4,9}u_{18} + \frac{1}{204}u_{19} + \frac{1}{8,9}u_{20} + \frac{1}{153}u_{21} + \frac{1}{3}u_{22} + \frac{1}{26}u_{23} + \frac{1}{12,7}u_{24} \\
 + \frac{1}{112}u_{25} + \frac{1}{4,2}u_{26} + \frac{1}{217}u_{27} + \frac{1}{5,3}u_{28} + \frac{1}{182}u_{29} + \frac{1}{1,4}u_{30} \\
 - 1.087.721,47v_1 - 2.566,07v_2 - 4.951.550,79v_3 - 9.015,55v_4 \\
 - 4.990.868,03v_5 - 9.465,97v_6 - 1.436.801,72v_7 - 3.656,98v_8 \\
 - 3.600.941,77v_9 - 10.717,13v_{10} - 8.016.117,82v_{11} - 6.229,62v_{12} \\
 - 4.840.530,41v_{13} - 5.842,35v_{14} - 2.112.017,87v_{15} - 3.407,66v_{16} \\
 - 3.666.445,67v_{17} - 2.920,60v_{18} - 6.919.752,96v_{19} - 11.551,24v_{20} \\
 - 14.096.534,12v_{21} - 13.044,03v_{22} - 305.213,37v_{23} - 837,69v_{24} \\
 - 1.162.661,96v_{25} - 3.407,66v_{26} - 1.692.359,26v_{27} - 3.791,35v_{28} \\
 - 8.985.914,39v_{29} - 13.276,67v_{30} - u_* \leq 0 \\
 u_1, u_2, v_1, v_2 \geq 0 \\
 u_* \in \Re
 \end{aligned} \tag{4}$$

Modelo 2

Análise de um caso particular por tipo de equipamento, onde se considerou o equipamento disjuntor por este ser a moda no rol disponível de equipamentos. Para este estudo foi utilizado o valor contábil do investimento em disjuntor como *inputs* e, como *outputs*, utilizou-se o número e o tempo total de falhas para esse equipamento. Para esta análise foram definidas as variáveis da Tabela 5.

Tabela 5 – Modelo 2: *Inputs* e *Outputs*

<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i> ^a
X_1 = valor contábil dos disjuntores	Y_1 = 1/número total de falhas
	Y_2 = 1/tempo total de falhas

^a Para os *outputs* indesejáveis foram considerados os inversos dos produtos e neste sentido o problema deseja minimizá-las.

Após a definição das variáveis de entrada e saída, utilizou-se o *software* SIAD (Angulo- Meza et al, 2005) para solução do modelo de Programação Linear descrito em (1), para cada uma das DMU. Na seção seguinte serão apresentados os resultados obtidos. Caso seja necessário, os dados estão disponíveis com os autores.

3. Análise DEA e Discussão dos Resultados

As Tabelas 6 e 7 resumem os resultados de eficiência encontrados na aplicação pelo modelo DEA BCC. A análise e a interpretação dos resultados são apresentadas adiante.

- **Modelo 1**

Tabela 6 - Eficiência das DMU no Modelo 1

DMU's	Modelo 1	
	Eficiência Composta*	Ranking
J	1	1
K	0,914492	2
D	0,768467	3
P	0,677707	4
B	0,673046	5
H	0,616847	6
E	0,561546	7
O	0,520953	8
L	0,427505	9
A	0,416853	10
R	0,337258	11
N	0,220627	12
Q	0,20993	13
F	0,061886	14
M	0,042136	15

Obs: eficiência composta normalizada, denotada por eficiência composta*

- **Modelo 2**

Tabela 7 - Eficiência das DMU no Modelo 2

DMU's	Modelo 2	
	Eficiência Composta*	Ranking
J	1	1
K	0,872236	2
D	0,765196	3
P	0,711997	4
O	0,622029	5
H	0,619124	6
E	0,589173	7
B	0,572775	8
A	0,480734	9
R	0,35872	10
Q	0,296201	11
N	0,209246	12
M	0,106276	13

A partir da análise das tabelas 6 e 7 nota-se uma pequena diferença no ranking a partir da quinta colocação, com a DMU B. O que se percebe é que há pouca variação nos modelos, e o caso mais específico é, de fato, a DMU B que se tornou mais ineficiente ao se considerar como input o valor contábil dos disjuntores. Outro ponto interessante é a Subestação Q possui um dos maiores número de falhas dentre todas as 13 DMU usadas neste estudo. Então foi classificada como ineficiente, embora possua o segundo menor investimento em disjuntores. Neste sentido, é preciso analisar este resultado muito cautelosamente, uma vez que os custos de manutenção considerados são globais, não tendo especificação de quanto desses custos são investidos em manutenção preventiva, preditiva, corretiva, dentre outros, podendo estar diretamente relacionados ao número de falhas.

4. Conclusões

O uso do modelo DEA BCC permitiu avaliar a eficiência das subestações de uma empresa distribuidora de energia localizada no Rio de Janeiro, conforme a proposta inicial deste artigo. Este estudo, porém, precisa ser ampliado para uma análise das folgas (positivas ou negativas) encontradas. Além disto, especialistas na área de engenharia de manutenção devem ser consultados, com a finalidade de se avaliar se as possíveis oportunidades de melhoria aqui encontradas podem, de fato, serem implementadas, e quais seriam as opções factíveis disponíveis no mercado, tornando os resultados aplicáveis à situação da empresa.

Para continuação deste estudo é também fundamental a verificação do nível de produção de cada uma das subestações consideradas a fim de avaliar a pertinência de uma comparação entre elas. Neste sentido cabe avaliar a inclusão de outras importantes variáveis tais como capacidade instalada, garantia física das instalações, capacidade produtiva, dentre outras.

Além disso, podem-se propor estudos que considerem o tempo de manutenção como outro *output* indesejável, pois, na busca pela melhoria de sua eficiência, as organizações tendem a buscar a redução de custos de manutenção, que impactam

diretamente seu custo de operação e qualquer parada de equipamentos para manutenção implica em não utilizá-lo no processo produtivo, o que pode gerar prejuízos para as organizações.

Considerando ainda a questão dos custos de manutenção, é preciso que haja uma melhor definição de quais custos estão inseridos no custo total aqui utilizado. Talvez seja preciso discriminar qual o percentual envolvido na manutenção preventiva, na manutenção preditiva e na manutenção corretiva. Complementarmente, seria interessante considerar também o custo especificado por tipo de equipamento, de forma a permitir uma análise mais detalhada do desempenho das subestações, dados os vários tipos de equipamentos nelas instalados.

Referências Bibliográficas

ANGULO-MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G. *ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Model. Pesquisa Operacional*, **25**(3), 493-503, 2005.

ANGULO-MEZA, L.; e LINS, M. P. E. *Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis. Annals of Operations Research*, 116, pp. 225-242, 2002.

ANGULO-MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G. e FERNANDES, A. J. *Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. Investigação Operacional*, 27(1), pp. 21-36, 2007.

ARCOVERDE, F. D.; TANNURI-PIANTO, M. E. e SOUZA, M. da C. S. de. *Mensuração das Eficiências das Distribuidoras do Setor Energético Brasileiro Usando Fronteiras Estocásticas. JEL: L51, L94 ÁREA 8 – Economia Industrial e da Tecnologia*, 2006.

BANKER, R. D. *Maximum Likelihood, Consistency and Data Envelopment Analysis: A Statistical Foundation. Management Science*, vol. 39, n° 10, pp. 1265-1973, 1993.

CHARNES, A., COOPER, W.W. and RHODES, E. *Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research* **2**, pp. 429–444, 1978.

ENTANI, T., MAEDA, Y. e TANAKA, H. *Dual Models of Interval DEA and its extensions to interval data. European Journal of Operational Research*, 136, 32-45, 2002.

GOMES, E. e LINS, M.P.E. *Modeling undesirable outputs with zero sum gains data envelopment analysis models. Journal of the Operational Research Society*, 59(5), p. 616-623, 2008.

GRÖSCHE, P. *Measuring residential energy efficiency improvements with DE.. J Prod Anal - 31:87–94*, 2009.

JAMAS, T. e POLLIT, M. *International benchmarking and regulation: an application to European electricity distribution utilities. Energy Policy* 31. 1609–1622, 2003.

LETA, F. R., SOARES DE MELLO, J. C. C. B., GOMES, E. G. e ANGULO-MEZA, L. *Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. Investigação Operacional*, 25(2), 229-242, 2005.

LINS, M.P.E. e ANGULO-MEZA, L. *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente do Apoio à Decisão*. Editora da COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

LINS, M. P. E., DE LYRA NOVAES, L. F. e LEGEY, L. F. L. (2005), *Real estate appraisal: A Double perspective data envelopment analysis approach. Annals of Operations Research*, 138(1), 79-96.

SOARES DE MELLO, J. C. B. ; ANGULO-MEZA, L.; GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. E.. *Análise Envoltória de Dados no Estudo da Eficiência e dos Benchmarks para Companhias Aéreas Brasileiras. Pesquisa Operacional*, 23(2), p.325-345, Maio a Agosto de 2003.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

SOARES DE MELLO, J. C. B. S.; ANGULO-MEZA, L.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. *Curso de Análise de Envoltória de Dados*. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, RS, pp. 2520–2547, 2005.

SOARES DE MELLO, J. C. B. S.; ANGULO-MEZA, L.; GOMES, E. G.; FERNANDES, A. J. S. e NETO, L. B. *Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura*, IEEE Latin American Transactions, 6(2), 153-161, 2008.

NANCI, L. C.; AZEREDO, S. M.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. *Estudo da eficiência de empresas distribuidoras de jornais usando análise envoltória de dados*. Produto e Produção, vol. 07, p. 27-35, 2003.

PÉREZ-REYES, R. e TOVAR, B. *Measuring efficiency and productivity change (PTF) in the Peruvian electricity distribution companies after reform*. Energy Policy 37, pp. 2249–2261, 2009.

POMBO, C. e TABORDA, R. *Performance and efficiency in Colombia's power distribution system: Effects of the 1994 reform*. Energy Economics 28, pp. 339–369, 2009.

YAMADA, Y., MATUI, T. e SUGIYAMA, M. *New analysis of efficiency based on DEA*. Journal of the Operations Research Society of Japan, 37(2), pp. 158-167, 1994.