

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DE INDICADOR DE ECOEFIÊNCIA DE EMPRESAS BRASILEIRAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Mozart Caetano Heymann

mozart.mch@gmail.com

Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado

rodrigoggcaiado@gmail.com

Lidia Angulo Meza

lidia_a_meza@yahoo.com

Valdecy Pereira

valdecypereira@yahoo.com.br



Esta pesquisa objetiva analisar o desempenho de sustentabilidade de empresas brasileiras de energia elétrica sob o ponto de vista ambiental, através de um indicador de Ecoeficiência, utilizando a Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA). Os modelos DEA de retorno constante (CCR) e variável (BCC) de escala foram aplicados para avaliar o desempenho de 42 unidades tomadora de decisão (DMUs), utilizando dois insumos ambientais (consumo de água e consumo de energia), com uma produção econômica (EBITDA), sendo consideradas algumas implicações gerenciais e políticas. Portanto, este trabalho preenche lacunas da literatura causadas pela escassez de estudos que empregam os conceitos de eficiência relacionados à sustentabilidade, com análise DEA, e principalmente com o uso de modelos para avaliar benchmarks nesse contexto de desenvolvimento sustentável. Os resultados mostraram que, pelo modelo CCR apenas três DMUs foram consideradas eficientes, o que representa 7,14% do conjunto de DMUs estudado. Ademais, no modelo BCC, dez DMUs obtiveram escore de 100%, havendo um aumento no número de DMUs eficientes no último ano avaliado.

Palavras-chave: DEA, Ecoeficiência e Sustentabilidade.

1. Introdução

O crescimento da população mundial em conjunto com o acelerado desenvolvimento tecnológico e do aumento da competitividade mercadológica contribuíram para o consumo intenso de recursos naturais para satisfazer as diversas demandas, impactando negativamente o meio ambiente, pois os recursos extraídos dele estão se tornando cada vez mais escassos (ARAÚJO et al., 2006). Assim, com a alta competitividade e o aumento da consciência da população, as organizações passaram a dar mais atenção ao tema de desenvolvimento sustentável melhorando seus processos de forma a reduzir os custos, desperdícios e o consumo de recursos naturais como insumo para a produção, buscando minimizar o impacto no meio ambiente e atender as necessidades e expectativas dos clientes (PAZ et al., 2018).

O conceito de sustentabilidade pode ser entendido como a incorporação de preocupações ambientais e sociais com o uso consciente de recursos naturais, governança e justiça social, aos negócios das empresas (LE ROUX ; PRETORIUS, 2016). Contudo, sua mais difundida definição pode ser transcrita como o “atendimento das necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

A partir dessa conjuntura é possível encontrar na literatura, propostas metodológicas para tentar avaliar o desempenho de organizações em termos de sustentabilidade. É o caso, por exemplo, do *Triple Bottom Line* (TBL) que leva em conta as dimensões econômica, ambiental e social (ELKINGTON, 1998). O conceito do TBL busca o equilíbrio entre o incremento econômico, gestão ambiental e igualdade social, para alcançar o desenvolvimento sustentável, correspondendo aos resultados de uma organização medidas segundo as três dimensões (TSHAFFON ; ÂNGULO MEZA, 2014).

A importância desses fatores acarretou a implementação de metodologias que pudessem mensurá-los, tais como o Retorno sobre o Investimento Sustentável (*Sustainable Return on Investment* - SROI) que é aplicável a projetos e atribui valores monetários aos impactos ambientais e sociais, produzindo resultados mensuráveis que vão além dos modelos financeiros tradicionais (WILLIAMS et al., 2010).

Neste sentido, Linnenluecke e Griffiths (2013), sustentam que a estrutura de comunicação voluntária do desempenho ambiental e social das empresas mais conhecida em todo o mundo é o *Global Reporting Initiative* (GRI). Através dos relatórios de sustentabilidade, diversos atores apresentam os impactos econômicos, ambientais e sociais de suas atividades, medindo, compreendendo e comunicando seu desempenho. Tais relatórios representam uma importante fonte de informação, que pode ser utilizada para a avaliação comparativa do desempenho de empresas e organizações. A partir desta lógica, pode-se identificar dois conceitos principais de eficiência relacionados à sustentabilidade: a Ecoeficiência e a Socioeficiência (CHARMONDUSIT et al., 2014). O primeiro leva em consideração os aspectos

econômicos e ambientais (KUOSMANEN ; KORTELAINEEN, 2005), e o segundo combina aspectos econômicos e sociais (SILVESTRE et al., 2015).

Entre as diversas metodologias utilizadas para realizar comparações de desempenho, ou seja, apuração da eficiência, Zhou et al. (2018), apresentam a análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) como uma ferramenta que vem sendo empregada para analisar diversas questões corporativas, regionais e nacionais, ligadas à sustentabilidade. O método avalia a performance de Unidades de Produção (*Decision Making Units* - DMUs) através de múltiplas medidas de desempenho organizadas como entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) (CHARNES et al., 1978). DEA inicialmente estabelece uma “fronteira eficiente” formada por um conjunto de DMUs que apresentam as melhores práticas e determinam o nível de eficiência das DMUs não eficientes, calculado de acordo com suas distâncias em relação à fronteira eficiente, cujo enfoque clássico objetiva minimizar os *inputs* e maximizar os *outputs*, sem ocorrência de alterações simultâneas de ambos.

Portanto, este artigo objetiva avaliar a sustentabilidade de empresas de energia elétrica do Brasil e identificar quais empresas devem aumentar seu investimento em capacidade de desenvolvimento sustentável, o que pode ser mensurado pelo indicador de Ecoeficiência, objetivando avaliar e comparar a eficiência, considerando a perspectiva ambiental. A partir dessa medida de eficiência, poder-se-á proporcionar um direcionamento quanto a futuros investimentos para líderes, gestores e tomadores de decisão e orientação política para o governo.

Dessa forma, a pesquisa possui as seguintes contribuições: (i) é uma extensão dos trabalhos anteriores de DEA, nos quais são considerados além de variáveis técnicas, consumo de água e consumo de energia; (ii) pode ajudar a identificar potenciais oportunidades de investimento para melhorar a sustentabilidade da indústria de energia; e (iii) fornece uma avaliação comparativa do desempenho de empresas do setor elétrico em sustentabilidade, focada na perspectiva ambiental, quanto ao melhor uso de insumos.

O artigo está organizado em cinco seções além desta Introdução. A Seção 2 aborda a Metodologia de Pesquisa. A Seção 3 detalha o Estudo de Caso. Em seguida a Seção 4 apresenta a Análise e Discussão dos Resultados e finalmente a Seção 5, mostra as Conclusões.

2. Metodologia de Pesquisa

2.1 Análise Envoltória de Dados – DEA

DEA é um método fundamentado em programação linear para medição de eficiência com base no trabalho original de (FARRELL, 1957) que foi posteriormente popularizado por (CHARNES et al. 1978). Uma das principais vantagens desta análise é não exigir nenhuma suposição prévia sobre as relações funcionais subjacentes entre insumos e produtos (ZHOU ;

BENG, 2008). O modelo CRS (do inglês *Constant Returns to Scale*), é também nomeado com as iniciais de seus autores, modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes). Em Charnes et al. (1978), foi proposta uma superfície linear não paramétrica e por partes - a fronteira de eficiência - para calcular a eficiência das DMUs. A principal característica deste modelo é o retorno constante de escala, ou seja, a variação das saídas é proporcional à variação dos insumos. Considerando n DMUs, cada uma com “ p ” inputs e “ k ” outputs; v_p e u_k representam, respectivamente, os pesos dados aos inputs i e aos outputs j , a eficiência relativa da DMU pode ser calculada como na Eq. (1):

$$\begin{aligned} & \text{Max} \quad \frac{\sum u_k y_{ki}}{\sum v_p x_{pi}} \\ & \text{Sujeito a:} \quad \frac{\sum u_k y_{kj}}{\sum v_p x_{pj}} \leq 1 \quad , \quad \forall j \\ & \quad u_k \geq 0 \quad , \quad v_p \geq 0 \quad , \quad \forall k \text{ e } \forall p \end{aligned} \quad (1)$$

Banker et al. (1984), apresenta um novo modelo DEA clássico, diferente do modelo CCR, denominado como modelo VRS (do inglês *Variable Return of Scale*) que também é conhecido pelas iniciais dos seus autores como modelo BCC (Banker, Charnes and Cooper). O modelo BCC considera retornos variáveis, ou seja, não há proporcionalidade entre entradas e saídas, o que significa que um incremento na variável de input não necessariamente provoca um incremento proporcional na variável de output. Nestes casos recomenda-se adotar esse modelo BCC que proporciona os retornos variáveis de escala (VRS). Este modelo, orientado a input, pode ser representado pela Eq. (2), conforme descrito em (DJORDJEVIC et al., 2018):

$$\begin{aligned} & \text{Min } h_0 \\ & \text{Sujeito a:} \\ & \sum_k \lambda_j x_{j1} \leq h_0 x_{i0} \\ & \sum_k \lambda_j y_{j1} \leq y_{j0} \end{aligned} \quad (2)$$

Em que $\sum_k \lambda_k = 1$ e $\lambda_k \geq 0, \forall k$, sendo λ um vetor de variáveis e h_0 representa um indicador de eficiência técnica onde $h_0 \in [0,1]$

Além disso, também foi observado que o modelo CCR identifica apenas a eficiência técnica, supondo que todas as DMUs estejam trabalhando em grande escala. Já o modelo BCC identifica a diferença entre eficiência técnica e eficiência de escala (BANKER et al., 1984). Outro ponto em DEA é a orientação do modelo. Se o modelo é orientado a input, a função objetivo leva a minimizar as entradas mantendo as saídas como constantes. No entanto, se o modelo for orientado a output, a função objetivo leva a maximizar as saídas mantendo as entradas como constantes. Em ambos os modelos, as DMUs devem ser homogêneas, ou seja,

devem realizar tarefas semelhantes e devem ter o mesmo objetivo, bem como, relação causal entre as variáveis (OSMAN et al., 2014).

3. Estudo de Caso

O estudo de caso trata de medir a eficiência de empresas que atuam no setor elétrico brasileiro, no período de 2012 a 2017, no âmbito da sustentabilidade, através da aplicação de Análise Envoltória de Dados - DEA. As empresas a serem estudadas foram selecionadas dentre as listadas na carteira do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), divulgado anualmente pela BM&F BOVESPA, e que também, fossem aderentes ao *Global Reporting Initiative* (GRI), cujos indicadores encontram-se reportados nos relatórios anuais dessas empresas.

O ISE foi criado em dezembro de 2005, objetivando atuar como indutor de boas práticas no meio empresarial brasileiro e ser uma referência para o investimento socialmente responsável, refletindo o retorno médio de uma carteira teórica de ações de empresas de capital aberto e listadas na BM&FBOVESPA como detentoras das melhores práticas em sustentabilidade (BMFBOVESPA –ISE, 2018). Verificou-se nas carteiras do ISE, entre 2012 a 2017, que em média são listadas 35 empresas, anualmente, contendo no mínimo oito do setor elétrico, ou seja, mais de 20% da carteira anual, demonstrando representatividade do setor no campo da sustentabilidade. Dessas oito empresas do setor elétrico, sete delas estiveram presentes em todas as carteiras ISE do período sob estudo, sendo estas empresas selecionadas para a presente pesquisa. As características destas sete Empresas de Energia [Ej], encontram-se elencadas abaixo:

- Empresa 1 – [E1] - Atuante nas áreas de geração, distribuição e comercialização de energia, além de prestar serviços de soluções de energia. Na área de geração de energia conta com 6 usinas hidrelétricas e 1 usina eólica, com capacidade instalada de aproximadamente 1,0 GW em operação
- Empresa 2 – [E2] - Atuante nas áreas de geração, distribuição e comercialização de energia, além de prestar serviços de soluções de energia. Na área de geração de energia conta com 12 usinas hidrelétricas, com capacidade instalada de 2,7 GW em operação.
- Empresa 3 – [E3] - Atuante nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia, além de serviços em telecomunicações. Na área de geração de energia conta com 20 usinas (sendo 18 hidrelétricas, 1 termelétrica e 1 eólica), com capacidade instalada de 4,8 GW em operação
- Empresa 4 – [E4] - Atuante nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia, além de distribuição de gás natural, serviços em telecomunicações e eficiência energética. Na área de geração de energia conta com 121 usinas (86 hidrelétricas, 3 termelétricas e 32 eólicas), capacidade instalada de 8,5 GW.

- Empresa 5 – [E5] - Atuante nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia, além de serviços em eficiência energética. Na área de geração de energia conta com 180 usinas (sendo 45 hidrelétricas, e 125 termelétricas, 8 eólicas e 2 nucleares), com capacidade instalada de 43 GW.
- Empresa 6 – [E6] - Atuante nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia, além de serviços em telecomunicações e em eficiência energética. Na área de geração de energia conta com 9 usinas (sendo 46 hidrelétricas, e 9 termelétricas, 33 eólicas e 1 solar), com capacidade instalada de 7GW.
- Empresa 7 – [E7] - Atuante nas áreas de geração e distribuição de energia, além de serviços em soluções de energia elétrica no país. Na área de geração de energia conta com 16 usinas (sendo 7 hidrelétricas, 8 pequenas centrais hidrelétricas e 1 termelétrica), com capacidade instalada de 3,7 GW.

As sete empresas, além de aderirem ao GRI, também são signatárias do Pacto Global, que se trata de um projeto proposto pelas Nações Unidas, desde o ano 2000, sendo implementado no Brasil através do Instituto Ethos, que conduziu o processo de engajamento das empresas brasileiras ao programa, culminando com a criação do Comitê Brasileiro do Pacto Global, em 2003, impulsionando diversas empresas do país a adotarem as boas práticas de gestão cidadã de seus negócios. Ao longo desses 15 anos, a Rede Brasil do Pacto Global, se tornou a terceira maior do mundo em empresas signatárias (PACTO GLOBAL – QUEM SOMOS, 2018). Estas sete empresas serão objeto de estudo, que associado a cada ano do período descrito de seis anos, corresponderá as DMUs no modelo DEA, portanto, serão consideradas quarenta e duas (42) DMUs.

A partir das informações do GRI é possível empregar os conceitos de eficiência relacionados à sustentabilidade para estabelecer as variáveis de Input e Output do modelo DEA (CHARMONDUSIT et al., 2014). Neste estudo de caso será aplicado o conceito de Ecoeficiência, (KUOSMANEN ; KORTELAJINEN, 2005) expresso pela seguinte equação Eq. (3):

$$Ecoeficiência = \frac{Valor\ econômico\ adicionado}{Pressão\ Ambiental} \quad (3)$$

Assim sendo, na Tabela 1 encontram-se as variáveis econômicas (Outputs) e ambientais (Inputs), que serão utilizadas para medida de desempenho das DMUs.

Tabela 1 - Variáveis para cálculo dos índices de Ecoeficiência

DMUS		INPUT		OUTPUT
EMPRESAS - ANOS	ORDEM	CONSUMO AGUA (M ³)	CONSUMO ENERGIA (GJ)	EBITDA (MR\$)
E1 - 2012	1	180.321	209.889	1.439
E2 - 2012	2	126.379	119.222	656
E3 - 2012	3	118.803	199.420	1.551
E4 - 2012	4	1.449.756	507.109	4.238
E5 - 2012	5	13.864.530	223.666.712	5.520
E6 - 2012	6	164.732	5.959.789	3.898
E7 - 2012	7	123.568	68.476	1.421
E1 - 2013	8	174.105	184.954	1.697
E2 - 2013	9	118.287	119.217	729
E3 - 2013	10	112.261	196.380	1.798
E4 - 2013	11	1.313.401	2.258.029	5.186
E5 - 2013	12	13.902.072	258.037.309	77
E6 - 2013	13	146.000	5.153.774	3.547
E7 - 2013	14	149.544	25.614.577	1.656
E1 - 2014	15	156.158	221.005	1.810
E2 - 2014	16	84.563	120.488	513
E3 - 2014	17	109.351	183.253	2.357
E4 - 2014	18	1.424.536	8.387.593	6.382
E5 - 2014	19	40.461.468	184.211.093	1.150
E6 - 2014	20	126.000	8.324.926	3.761
E7 - 2014	21	5.898.195	19.373.044	1.915
E1 - 2015	22	139.334	118.691	1.614
E2 - 2015	23	68.270	117.637	964
E3 - 2015	24	97.433	192.950	2.585
E4 - 2015	25	698.048	2.290.047	4.955
E5 - 2015	26	25.165.000	175.294.115	2.853
E6 - 2015	27	151.000	64.200.453	3.750
E7 - 2015	28	10.618.596	40.232.466	3.002
E1 - 2016	29	133.071	115.657	1.427
E2 - 2016	30	63.898	119.206	734
E3 - 2016	31	94.788	194.622	2.752
E4 - 2016	32	385.178	320.111	2.638
E5 - 2016	33	15.316.200	101.763.662	3.845
E6 - 2016	34	161.000	65.660.172	4.126
E7 - 2016	35	12.770.389	46.247.098	2.298
E1 - 2017	36	129.155	117.339	1.976
E2 - 2017	37	59.807	119.202	1.100
E3 - 2017	38	96.237	182.051	2.873
E4 - 2017	39	363.756	762.074	3.492
E5 - 2017	40	12.525.800	126.891.875	5.554
E6 - 2017	41	128.117	64.930.313	4.864
E7 - 2017	42	12.036.182	49.662.836	2.187

Fontes: Relatórios Anuais de Sustentabilidade das Empresas, e
Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

O EBITDA (*Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization*) é uma variável de caráter econômica definida em português pela sigla LAJIDA (Lucros Antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização) e demonstra o valor do fluxo de caixa operacional da empresa. O consumo total de água e o consumo total de energia são utilizados como variáveis ambientais e traduzem os recursos naturais empregados nas atividades produtivas, sendo

notório que vem sendo largamente difundida a necessidade de reduzir o consumo e evitar o desperdício desses insumos.

A partir da obtenção dos dados partiu-se para aplicar a metodologia DEA, com orientação a Input, pois se deseja reduzir o consumo de água e energia. Para execução dos cálculos dos modelos DEA, contemplando as 42 DMUs foi utilizado o *software* computacional “Lindo Systems - Optimization Software” (LINDO SYSTEMS, 2004).

Nas Tabelas 2 e 3 encontram-se os resultados de eficiências das DMUs, através do índice de Ecoeficiência, nos modelos, CCR e BCC. Para facilitar a análise, as tabelas foram dispostas em forma de matriz. Em azul os resultados eficientes e em laranja os menos eficientes.

Tabela 2 - Ecoeficiência – modelo CCR

EMPRESAS	2012	2013	2014	2015	2016	2017
E1	0,4017	0,5276	0,4971	0,7433	0,6778	0,9350
E2	0,3082	0,3477	0,2587	0,5127	0,3895	0,6161
E3	0,4848	0,5741	0,8015	0,8887	0,9724	1,0000
E4	0,4027	0,1437	0,1497	0,2376	0,4476	0,3215
E5	0,0132	0,0002	0,0010	0,0038	0,0084	0,0148
E6	0,7783	0,7994	0,9665	0,6775	0,7045	1,0000
E7	1,0000	0,3399	0,0109	0,0095	0,0060	0,0061

Fonte: Resultado do Modelo processado no “Lindo Systems”

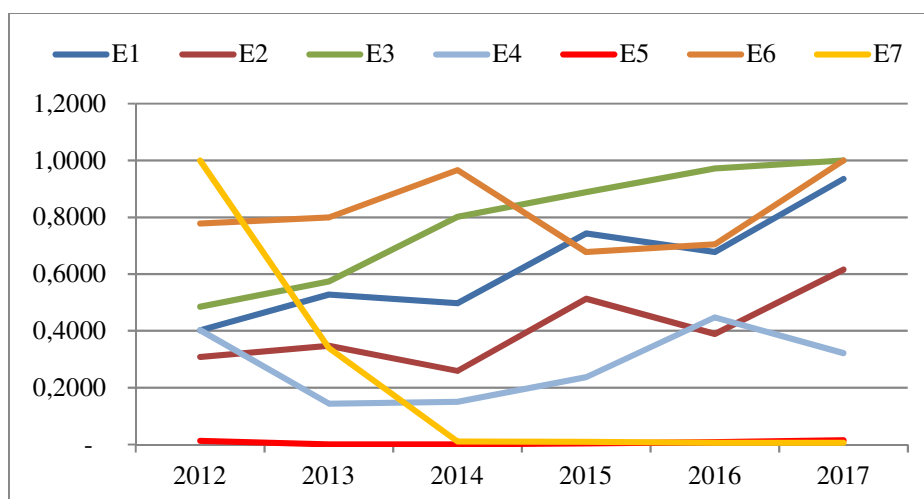
Tabela 3 - Ecoeficiência – modelo BCC

EMPRESAS	2012	2013	2014	2015	2016	2017
E1	0,5021	0,5845	0,5764	0,7919	0,7804	0,9535
E2	0,7589	0,7818	0,8883	0,9699	0,9808	1,0000
E3	0,6400	0,7052	0,8502	0,9270	0,9890	1,0000
E4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,5113	0,9562
E5	0,0652	0,0044	0,0015	0,0038	0,0214	0,0768
E6	1,0000	0,9189	1,0000	0,7162	0,7170	1,0000
E7	1,0000	0,4870	0,0130	0,0118	0,0066	0,0068

Fonte: Resultado do Modelo processado no “Lindo Systems”

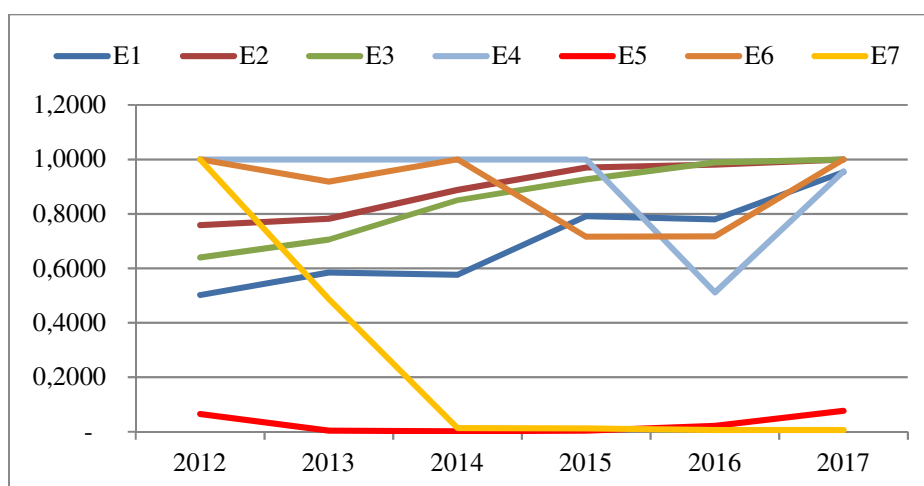
Ainda no intuito de facilitar as análises e dar maior visibilidade aos resultados, foram construídos com os dados das tabelas anteriores, as Figuras 1 e 2, em que se encontram representados os índices de Ecoeficiência nos modelos CCR e BCC respectivamente.

Figura 1 – Ecoeficiência – modelo CCR



Fonte: Tabela 2

Figura 2 – Ecoeficiência – modelo BCC



Fonte: Tabela 3

Na próxima seção serão analisados os resultados demonstrados nas Tabelas 2-3 e Figuras 1-2.

4. Análise e Discussão de Resultados

Observando-se as Tabelas 2-3, verifica-se que os resultados obtidos nos modelos CCR, foram mais rigorosos com os índices de eficiência, apresentando um número menor de DMUs eficientes em relação aos modelos BCC, e consequentemente com maior discriminação.

Realizando uma análise detalhada do índice de Ecoeficiência, no que tange a ineficiência, dentre as empresas objeto de estudo, se nota com maior intensidade na [E5], conforme Tabelas 2-3 e visível nas Figuras 1-2, apresentando nos anos de 2013, 2014 e 2015 índices de desempenho abaixo de 0,5 % (meio por cento), que pode ser explicado ao se verificar na Tabela 1 os altos consumos de água e energia, em contrapartida com a baixa performance econômica, expressada através do EBITDA. Verifica-se ainda nas referidas Tabelas 2-3 que a

[E7], também apresenta baixa eficiência neste índice, podendo ser justificado pelo aumento conjunto dos fatores ambientais, especialmente a partir de 2014, de acordo com a Tabela I e evidenciado nas Figuras 1-2.

Quanto as DMUs eficientes serão analisadas inicialmente, as que são eficientes em ambos os modelos, que corresponde as 3 DMUs do modelo CCR, conforme se verifica nas Tabelas 2 e 3. Destaca-se a empresa [E3] no ano 2017 que possui a relação mais favorável entre a variável econômica – EBITDA com as variáveis selecionadas de pressões ambientais. A empresa [E7], em 2012, apresenta a maior razão entre a variável econômica e o consumo de energia, o que foi o bastante para se tornar eficiente. Finalmente a [E6], em 2017, apesar de ter um consumo de energia elevada, no entanto, apresenta um valor econômico relativamente alto e a maior razão entre esta variável econômica e o consumo de água. Observou-se também que pelo modelo de cálculo BCC, além das DMUs descritas anteriormente outras também se mostraram eficientes, vide Tabela 3, destacando-se a [E4], que registrou eficiência de 2012 a 2015, salientado na Figura 2, esse resultado, se deve a princípio em função dos valores elevados do EBITDA, embora os consumos de água e energia tenham sido acima das empresas de baixo consumo, no entanto, ficaram bem abaixo das de grande consumo, conforme se verifica na Tabela 1.

Além disso, é importante ressaltar que no período sob estudo consta dos relatórios das empresas analisadas e da agência reguladora de energia elétrica, a informação relativa a fatos que influenciaram no desempenho das empresas do setor. Tais fatos se relacionam com a notória crise econômica do país, a ocorrência de chuvas bem abaixo da média, acarretando o uso de termoelétricas, e a implementação de marco regulatório no setor, com a promulgação da Lei nº 12.783 de 11/01/2013, provocando impacto em todos os segmentos do setor.

5. Conclusões

Esta pesquisa atingiu o seu objetivo em apresentar uma análise voltada para o campo da sustentabilidade das principais empresas do setor elétrico brasileiro, com a aplicação de DEA utilizando os modelos CCR e BCC, através do cálculo de um índice de Ecoeficiência, cujas variáveis correspondem a indicadores do GRI.

Importante ressaltar, que a aplicação de DEA na apuração do ordenamento de alternativas corporativas mais sustentáveis aliando os conceitos ambientais e financeiro, objetivando medir as respectivas eficiências de forma comparativa, servindo como referência, para as que não alcançaram o nível de excelência, possam rever a sua gestão, empregando as melhores práticas, de tal forma que os resultados deste trabalho servirão como benchmarking para melhorias futuras.

Essa busca por alternativas mais sustentáveis considerando os critérios quantitativos, no presente trabalho sob a perspectiva da Ecoeficiência, focou na redução dos consumos de

água e energia, face a variável econômica EBITDA, resultando como DMUs eficientes, concomitantemente no modelo CCR e BCC, as empresas [E3] e [E6], em 2017, e a [E7], em 2012.

Esses resultados permitem aos *stakeholders* decidirem em quais organizações vão investir seus recursos, facilitando a transparência para a tomada de decisão, bem como para os gestores das empresas diante do cenário estudado, pensarem o que tem que ser melhorado para o futuro e o que deve ser proposto relativo ao contexto regulatório, econômico e ambiental que são relevantes para o setor.

Na expectativa de continuar a pesquisa no âmbito de problemas de cunho sustentável, sugere-se como trabalhos futuros a possibilidade de utilização de modelos mais avançados em DEA, como uso do modelo DDF ou modelos que avaliem a produtividade dos fatores ao longo do tempo, observando as mudanças na tecnologia, como o uso do índice Malmquist.

Agradecimentos

Muito se tem a agradecer ao apoio recebido do CNPq, da CAPES e da Finep.

Referências

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. “Indicadores”. http://www2.aneel.gov.br/cedoc/_Proret_Submod_2_2_v3.pdf. [Accessed em 25/11/2018].

Araújo, G.C. et al. Sustentabilidade Empresarial: Conceitos e Indicadores. In: CONGRESSO ONLINE, 3, 2006, Anais III CONVIBRA, 2006, p. 1-20. Disponível em: <http://www.convibra.com.br/2006/artigos/61_pdf.pdf> [Accessed 10/12/2018]

Banker, R. D., Charnes, A. e Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9): 1078-1092.

BMFBOVESPA. “Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE)” [online] Available: http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-de-sustentabilidade-empresarial-ise.htm [Accessed 10/12/2018]

Brasil. Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária. [online] Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/Lei/L12783.htm [Accessed] 10/12/2018.

Charmondusit, K., Phatarachaisakul, S. e Prasertpong, P. (2014). The quantitative eco-efficiency measurement for small and medium enterprise: a case study of wooden toy industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(5): 935-945.

Charnes, A., Cooper, W. W. e Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6): 429-444.

- Djordjević, B., Krmac, E. e Mlinarić, T. J. (2018). Non-radial DEA model: A new approach to evaluation of safety at railway level crossings. *Safety science*, 103: 234-246.
- Elkington, J. “Cannibals with Forks – The Triple Bottom Line of 21st Century Business”, Grabiola Island: New Society Publishers. 1998.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.
- Kuosmanen, T. e Kortelainen, M. (2005). Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4): 59-72.
- Le Roux, C. e Pretorius, M. (2016). Conceptualizing the Limiting Issues Inhibiting Sustainability Embeddedness. *Sustainability*, 8(4), 364.
- Lindo Systems. (2004). LINGO (release version: 9.0). Lindo Systems, Inc.
- Linnenluecke, M. K. e Griffiths, A. (2013). Firms and sustainability: Mapping the intellectual origins and structure of the corporate sustainability field. *Global Environmental Change*, 23(1): 382-391.
- Osman, I. H., Anouze, A. L., Irani, Z., Al-Ayoubi, B., Lee, H., Balci, A., Medeni T. D. e Weerakkody, V. (2014). COBRA framework to evaluate e-government services: A citizen-centric perspective. *Government information quarterly*, 31(2), 243-256.
- PACTO GLOBAL. "Quem somos: Rede Brasil do Pacto Global" [online] available: <http://pactoglobal.org.br/quem-somos/>. [Accessed 10/12/2018]
- Paz, T.S.R., Machado, M. T. M., Lima, G. B. A., Zotes, L. P.(2018). Análise de sustentabilidade com base no princípio do triple bottom line (TBL) pela técnica de similaridade com solução ideal (TOPSIS). XXXVIII SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Maceió, AL.
- Silvestre, W. J., Antunes, P., Amaro, A. e Leal Filho, W. (2015). Assessment of corporate sustainability: study of hybrid relations using Hybrid Bottom Line model. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(4), 302-312.
- Tschaffon, P.B. and Angulo Meza, L. “Assessing the Efficiency of the Electric Energy Distribution using Data Envelopment Analysis with undesirable outputs”. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, VOL. 12, NO. 6. Pp. 1027-1035. 2014
- WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). *Our common future*, Oxford University Press, Oxford.

Williams J., Cofield A-M., Ellyson H., Jansen F., Mckessar M., O'Rourke S. e Seybert E. (2010). Sustainable Return on Investment: A Pathway toward Widespread Sustainability Measurement and Communication. *Sustainability* V3 Is 4 pp. 235-240.

Zhou H., Yang Y., Chen Y. e Zhu J. (2018). Data envelopment analysis application in sustainability: The origins development and future directions". *European Journal of Operational Research* V264 pp. 1-16.

Zhou P. e Beng W. A. (2008). Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance." *Energy Policy* 36.8: 2911-2916.