

# ANÁLISE DO DESEMPENHO SUSTENTÁVEL COM USO DE MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO - ESTUDO DE CASO EM EMPRESAS DE ENERGIA NO CICLO 2012 - 2017

**Mozart Caetano Heymann**

mozart.mch@gmail.com

**Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado**

rodrigoggcaiado@gmail.com

**Gilson Brito Alves Lima**

glima@id.uff.br

**Valdecy Pereira**

valdecypereira@yahoo.com.br



*Esta pesquisa objetiva analisar a performance das principais empresas brasileiras de energia, sob o ponto de vista das três dimensões da sustentabilidade - econômica, ambiental e social. Para isso, utilizou-se dois métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD): TOPSIS e VIKOR, para avaliar a evolução no desempenho anual de sete empresas de energia elétrica que seguem o Global Reporting Initiative (GRI) e estão listadas no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) no período de 2012 a 2017, que foi marcado por crises financeira e hídrica que afetaram o setor. Neste contexto, utilizaram-se para a avaliação os seguintes indicadores listados nos relatórios anuais de sustentabilidade destas sete empresas: emissões diretas de gases de efeito estufa e consumo de água (perspectiva ambiental), número de acidentes fatais e número de consumidores (perspectiva social) e, EBITDA e OPEX (perspectiva econômica). Dessa forma, são preenchidas lacunas na literatura relativas a carência de estudos que relacionam métodos de apoio a decisão com medição de desempenho pela perspectiva integrada das três dimensões da sustentabilidade, além de fornecer uma análise comparativa de dois dos principais métodos utilizados em problemas de ordenação, para a medição da sustentabilidade no setor de energia.*

*Palavras-chave: Sustentabilidade, Apoio Multicritério à Decisão, TOPSIS, VIKOR.*

## 1. Introdução

As empresas de energia elétrica brasileiras sofrem fortes influências da gestão governamental e são vulneráveis às condições climáticas. Neste contexto, verifica-se que o setor foi impactado com a Medida Provisória nº 579, de 11/09/2012, convertida na Lei nº 12.783 em 11/01/2013, que promoveu a redução dos valores das contas de energia em todas as classes de consumo de energia (ELETROBRÁS, 2012). E especialmente entre os anos de 2012 e 2015, as precipitações ficaram abaixo da média histórica, prejudicando a geração de energia, e conseqüentemente intensificando a geração de energia através das termoeletricas (ELETROBRÁS, 2015), afetando as finanças das empresas do setor e aumentando a poluição, conseqüentemente afetando a sociedade.

Dessa forma, considerando as diversas interações complexas, sociais, políticas e econômicas dessas empresas com os sistemas naturais (GONZALEZ et al., 2015), a análise do desempenho organizacional quanto aos aspectos da sustentabilidade é uma necessidade crescente para gestores e tomadores de decisão.

O tema da sustentabilidade, que abrange os aspectos econômicos, ambientais e sociais, vem crescendo significativamente, sendo impulsionado, a partir da última década do século passado, indicando crescente interesse por parte das empresas quanto ao emprego de práticas sustentáveis (LINNENLUECKE; GRIFFITHS, 2013). O interesse na sua adoção é calcado no potencial de benefícios que pode proporcionar, tais como, melhorar as relações com *stakeholders*, favorecer a inovação, vantagens competitivas e resiliência quanto às adversidades (PERROT, 2014). Dentre as definições do conceito de sustentabilidade (LE ROUX; PRETORIUS, 2016) asseveram que 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.

Neste sentido, a estrutura de comunicação voluntária do desempenho ambiental e social das empresas mais conhecida em todo o mundo é o *Global Reporting Initiative (GRI)* (LINNENLUECKE; GRIFFITHS, 2013). Tais relatórios representam uma importante fonte de informação, que pode ser utilizada para a avaliação comparativa do desempenho de empresas e organizações, pois através desses relatórios apresentam os impactos econômicos, ambientais e sociais de suas atividades, medindo, compreendendo e comunicando seu desempenho.

As avaliações da sustentabilidade exigem a gestão de uma variedade de tipos de informação, parâmetros e incertezas, sendo por isso, considerado adequado o uso de métodos de apoio multicritério à decisão (AMD), tendo em vista sua flexibilidade e a possibilidade de facilitar o diálogo entre *stakeholders*, analistas e cientistas (CINELLI et al., 2014). Entre as diversas metodologias utilizadas para realizar AMD, neste trabalho será dado enfoque a dois modelos comumente empregados para resolver problemas de ordenação: TOPSIS e VIKOR.

A “Técnica de Similaridade por Solução Ideal” – TOPSIS (*Technique for Order of*

*Preference by Similarity to Ideal Solution*) considerado um método robusto e adequado que vem ganhando popularidade no setor elétrico, sendo um dos modelos de nível de referência mais conhecidos para avaliar alternativas de fontes de energia em relação a indicadores sustentáveis (AFSORDEGAN et al., 2016).

O método conhecido como “Otimização Multicritério e Solução de Compromisso” - VIKOR (*ViseKriterijumskaOptimizacija i KompromisnoResenje*) objetiva ordenar um conjunto de alternativas sob critérios conflitantes, e visa a otimização multicritério, considerando uma comparação de quão perto uma solução de compromisso encontra-se para uma alternativa ideal em sistemas complexos.

Portanto, este artigo objetiva analisar o desempenho sustentável com uso dos métodos de apoio a decisão, TOPSIS e VIKOR, em empresas de energia no ciclo 2012 – 2017, em meio as adversidades relatadas, a fim de identificar quais empresas obtiveram desempenho aceitável e quais devem aumentar seu investimento em capacidade de desenvolvimento sustentável. Dessa forma, a pesquisa possui as seguintes contribuições: (i) é uma extensão dos trabalhos anteriores de TOPSIS sendo consideradas avaliações em seis anos (2012-2017) e comparação com outro método de AMD, o VIKOR; (ii) permite identificar potenciais oportunidades de melhoria do desempenho sustentável da indústria de energia; e (iii) fornece uma avaliação comparativa do desempenho de empresas do setor elétrico em sustentabilidade.

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, as Conclusões.

## **2. Metodologia de Pesquisa**

### **2.1 Método TOPSIS**

Conforme Hwang et al. (1993), a técnica TOPSIS para ordenamento de preferência por similaridade pela solução ideal foi primeiramente desenvolvida por Hwang e Yoon (1981), a fim de solucionar um problema de tomada de decisão com múltiplos atributos e isso forneceu o princípio do compromisso em que a alternativa escolhida deve ser a de menor distância da Solução Ideal Positiva (SIP) e a de maior distância da Solução Ideal Negativa (SIN). Com isso, o TOPSIS minimiza a distância para a alternativa ideal enquanto maximiza a distância até o ponto ante ideal.

Assim, escolheu-se o método TOPSIS, pois conforme Lima Junior et al. (2015), é adequado para modelar valores de critérios quantitativos precisamente conhecidos, o processo de coleta de dados é menos complexo e requer menor quantidade de julgamentos.

Segundo Olson (2004), e Barros e Wanke (2015), a ideia do método TOPSIS pode ser expressa nas seguintes etapas:

1. Desenvolver matriz de avaliação com  $m$  alternativas e  $n$  critérios, sendo que a intersecção entre cada alternativa e critério é dada por  $x_{ij}$ , para o qual a matriz  $(x_{ij})_{m \times n}$  é obtida.
2. Normalizar a matriz  $(x_{ij})_{m \times n}$  para uma matriz regulamentada  $R^* = (r_{ij})$ , demonstrado na Equação 1:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} = 1, 2, \dots, m \text{ e } j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

3. Ponderar matriz. Desenvolver um conjunto de constantes de escala  $w_k$  para cada um dos critérios. A base para esta ponderação geralmente é o reflexo ad hoc da importância relativa de cada critério. A escala não é um problema se a normalização for realizada na etapa 2. A ponderação da matriz é dada pela Equação 2:

$$v_{ij} = (w_{ij})_{m \times n} = (w_j r_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

Em que,  $w_j$  é a constante de escala dado para o critério  $j$ , e  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ .

4. Definir melhor desempenho. Identificar a alternativa ideal ou  $s_{ij}^+$  (desempenho extremo em cada critério) ou SIP.
5. Definir pior desempenho. Identificar a alternativa de ponto ante ideal ou  $s_{ij}^-$  (desempenho extremo reverso em cada critério) ou SIN.
6. Obter medidas de distância com base em distância Euclidiana. Desenvolver uma medida de distância para cada ponto ideal (D+) e para cada ponto ante ideal (D-). Essas medidas são dadas respectivamente pelas Equações 3 e 4:

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - s_{ij}^+)^2}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - s_{ij}^-)^2}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

7. Determinar razão R. Para cada alternativa, determinar a razão R igual à distância para o ponto ante ideal dividido pela soma da distância ao ponto ante ideal e a distância para o ponto ideal (Equação 5).

$$R = D^- / (D^- + D^+) \quad (5)$$

8. Classificar. Obter a ordem de classificação das alternativas pela maximização da relação da etapa 7.

## 2.2 Método VIKOR

O método VIKOR foi desenvolvido a partir da métrica utilizada no método de solução por compromisso introduzido para AMD por Yu (1973). A solução de compromisso é uma solução viável, que é a mais próxima do ideal (OPRICOVIC; TZENG, 2004). O VIKOR se concentra em elaborar um ranking a partir de um conjunto de alternativas de critérios contraditórios presentes, o qual apresenta uma classificação multicritério com base na medida especial de proximidade com a solução ideal (DUCKSTEIN; OPRICOVIC, 1980).

Entre as vantagens do VIKOR, Kusi-Sarpong et al. (2019), indica as seguintes: fornece soluções otimizadas em situações complexas e conflitantes e em casos em que os critérios possuem diferentes unidades de medida e fornece uma solução otimizada que está mais próxima da solução ideal, usando a abordagem de *ranking* de compromisso. Conforme Opricovic e Tzeng (2004, 2007), este método consiste das seguintes etapas:

1. Desenvolver matriz de avaliação com  $m$  alternativas e  $n$  critérios;
2. Com base na Equação 6 descrevendo a métrica  $L_{pi}$ , deve-se definir uma utilidade máxima do grupo baseado em  $L_1$  e um peso individual mínimo ou “arrependimento” da alternativa baseada em  $L_\infty$ ;

$$L_{pi} = \left( \sum_{j=1}^1 \left( \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right)^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad \begin{matrix} p \in [1, \infty) \\ i = 1, \dots, m \end{matrix} \quad (6)$$

3. Determinar os maiores valores  $f_j^*$  e os menores valores  $f_j^-$  de função de critério (Equação 7):

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, \quad f_j^- = \min_i f_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

4. Avaliar a utilidade do grupo ( $S_i$ ) e o peso individual mínimo ( $R_i$ ) para cada alternativa conforme se segue (Equações 8 e 9):

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$R_i = \max_j \left( w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

5. Avaliar  $S^*, S^-, R^*$  e  $R^-$ , definidos abaixo (Equações 10 e 11):

$$S^* = \min_i S_i, \quad R^* = \min_i R_i \quad (10)$$

$$S^- = \max_i S_i, \quad R^- = \max_i R_i \quad (11)$$

6. Calcular o valor de  $Q_i$  de acordo com cada alternativa por meio da Equação 12:

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

Em que  $v$  é um valor constante usado para auxiliar na estratégia usada no método VIKOR. Conforme Huang *et al.* (2008),  $v$  impõe a condição da decisão: “voto por maioria” implica  $v > 0,5$ , “consenso” implica  $v = 0,5$  e “veto” é definido quando  $v < 0,5$ . Nesta pesquisa, será assumido  $v = 0,5$ .

7. Ordenar as alternativas de acordo com a utilidade máxima do grupo ( $S_i$ , “maioria”), o peso individual mínimo ( $R_i$ ) da alternativa e o parâmetro da estratégia ou score final ( $Q_i$ ) em ordem decrescente. Nesta pesquisa considerou-se para ordenação somente os valores obtidos por  $Q$ , comumente empregado em várias outras áreas.

### 3. Estudo de Caso

O estudo de caso trata de analisar o desempenho sustentável com uso dos métodos TOPSIS e VIKOR, em empresas de energia no ciclo 2012 – 2017. 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 (BMFBOVESPA – ISE 2018). Constatou-se que sete empresas do setor elétrico 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 na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das empresas analisadas

<b>Empresa 1 – [E1]</b> - 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
<b>Empresa 2 – [E2]</b> - 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.
<b>Empresa 3 – [E3]</b> - 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
<b>Empresa 4 – [E4]</b> - 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.
<b>Empresa 5 – [E5]</b> - 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.
<b>Empresa 6 – [E6]</b> - 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.
<b>Empresa 7 – [E7]</b> - 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.

Fonte: Site das empresas selecionadas

No presente estudo, utilizaram-se 2 indicadores para cada dimensão de sustentabilidade, buscando-se aqueles que tivessem ligações direta com as operações das empresas do segmento e relevância para a sociedade. Na Tabela 2 encontra-se a descrição dos indicadores utilizados.

Tabela 2 – Descrição dos indicadores

<b>AMBIENTAIS</b>	<b>EMISSÕES DIRETAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA – GEE</b> - correspondem às emissões desses gases danosos ao meio ambiente e aos seres vivos, oriundas de fontes de propriedade ou controlada pela empresa (DAPPER et al. 2014) produto resultante das operações das empresas, mas por ser nocivo à saúde trata-se de um indicador cujo o objetivo é reduzir a sua produção. Expresso em tCO <sub>2</sub> e (toneladas de carbono equivalente).
	<b>CONSUMO DE ÁGUA</b> - corresponde aos recursos naturais empregados nas atividades produtivas, notoriamente vem sendo largamente difundida a necessidade de reduzir o seu consumo e evitar os desperdícios, pois se trata de insumo fundamental para o ser vivo.
<b>SOCIAIS</b>	<b>ACIDENTES COM MORTE</b> – esse indicador possivelmente trata-se de um dos mais controlados sob o ponto de vista social, no que tange a sua redução, pois está vinculado diretamente a preservação da vida, sendo um indicador relevante para a qualidade das atividades operacionais, uma vez que a falta de segurança e prevenção pode trazer danos fatais para os trabalhadores e consumidores.
	<b>NÚMERO DE CONSUMIDORES</b> - corresponde ao número de consumidores atendidos pela empresa no período determinado, esta variável de dimensão operacional, também se encontra vinculada ao aspecto social, pois a energia elétrica é um insumo primordial para a sociedade, portanto espera-se o aumento deste indicador.
<b>ECONÔMICOS</b>	<b>EBITDA</b> - sigla inglesa que significa “ <i>Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization</i> ”, 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, e, portanto, espera-se um incremento deste indicador.
	<b>OPEX</b> - sigla derivada da expressão inglesa “ <i>Operational Expenditure</i> ”, que significa o capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa, são os custos e despesas operacionais, portanto um indicador econômico, que se mantendo o mesmo nível de produção, tende a reduzir na medida que a empresa mantém seus bens funcionando observando a boa técnica

Fonte: Próprio autor

Assim sendo, na Tabela 3 encontram-se os valores dos 6 indicadores (critérios) correspondentes para cada alternativa proposta por ano.

A partir da obtenção dos dados partiu-se para aplicar a metodologia TOPSIS e VIKOR considerando que se deseja reduzir as variáveis ambientais, o número de acidentes com mortes e o OPEX, e incrementar o número de consumidores e o EBITDA. Para todos os critérios foram admitidos pesos iguais. Para execução dos cálculos de ambos modelos contemplando as 7 Alternativas a cada ano, foi utilizado o pacote "MCDM" do software computacional R Project (R CORE TEAM, 2017).

Tabela 3 – Alternativas anuais com os respectivos Indicadores

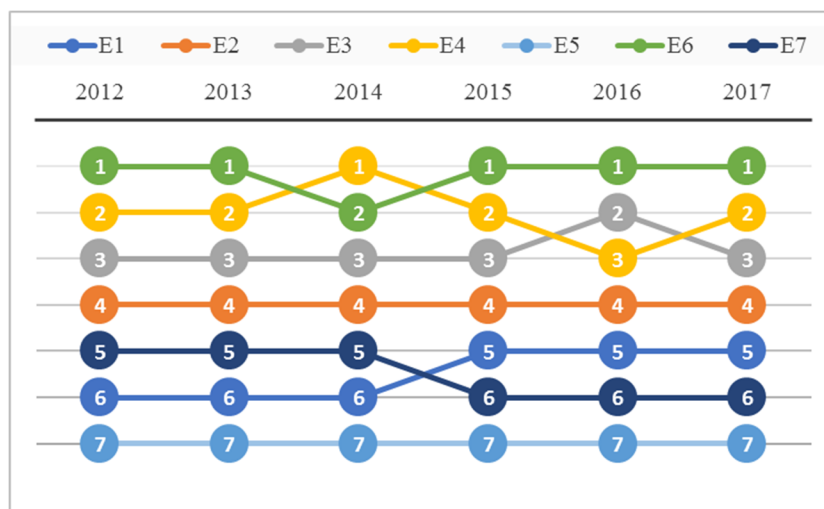
ALTERNATIVAS		INDICADORES					
		AMBIENTAIS		SOCIAIS		ECONÔMICOS	
ANOS	EMPRESAS	EMISSIONES (tCO2e)	CONS ÁGUA (M3)	ACIDENTES FATAIS (QUANT.)	CONSUMIDORES (QUANTIDADE)	EBITDA (MR\$)	OPEX (MR\$)
2012	E1	7.827	180.321	38	3.486.678	1.439	6.114
	E2	7.324	126.379	14	6.922.106	656	8.470
	E3	195.061	118.803	14	3.687.521	1.551	7.501
	E4	53.567	1.449.756	31	6.762.619	4.238	11.528
	E5	8.169.468	13.864.530	38	3.808.063	5.520	20.478
	E6	227.500	164.732	21	8.319.163	3.898	12.556
	E7	5.249	123.568	18	2.877.680	1.421	5.475
2013	E1	10.105	174.105	36	3.516.715	1.697	6.111
	E2	7.158	118.287	18	6.761.717	729	7.412
	E3	196.960	112.261	14	3.602.820	1.798	8.068
	E4	146.101	1.313.401	31	6.688.556	5.186	11.232
	E5	10.270.407	13.902.072	36	3.653.076	77	23.268
	E6	299.698	146.000	18	8.166.939	3.547	12.264
	E7	6.202	149.544	12	2.821.885	1.656	5.920
2014	E1	37.994	156.158	38	3.457.772	1.810	7.958
	E2	6.564	84.563	10	6.660.716	513	9.501
	E3	175.306	109.351	5	3.531.829	2.357	12.351
	E4	617.717	1.424.536	22	6.543.935	6.382	14.451
	E5	9.358.352	40.461.468	38	3.458.586	1.150	29.116
	E6	678.399	126.000	14	8.010.192	3.761	14.766
	E7	1.836.108	5.898.195	8	2.778.034	1.915	8.073
2015	E1	31.557	139.334	32	3.403.146	1.614	9.885
	E2	6.156	68.270	18	6.522.904	964	12.093
	E3	231.519	97.433	17	3.437.021	2.585	12.912
	E4	164.537	698.048	24	6.382.796	4.955	18.318
	E5	8.413.812	25.165.000	32	3.353.822	2.853	31.026
	E6	798.633	151.000	8	7.801.799	3.750	17.954
	E7	4.529.463	10.618.596	21	2.685.324	3.002	8.975
2016	E1	38.727	133.071	24	3.327.065	1.427	8.268
	E2	22.690	63.898	21	6.388.821	734	10.123
	E3	282.745	94.788	15	3.320.114	2.752	11.279
	E4	15.462	385.178	25	6.195.904	2.638	15.903
	E5	6.954.216	15.316.200	24	3.229.964	3.845	45.910
	E6	527.117	161.000	19	7.544.571	4.126	16.589
	E7	5.218.273	12.770.389	4	2.591.752	2.298	10.680
2017	E1	40.419	129.155	27	3.246.202	1.976	8.870
	E2	10.763	59.807	23	6.242.404	1.100	11.071
	E3	227.022	96.237	19	3.196.468	2.873	11.985
	E4	48.849	363.756	21	5.973.483	3.492	18.817
	E5	5.803.061	12.525.800	27	3.097.234	5.554	35.575
	E6	759.900	128.117	17	7.061.752	4.864	23.723
	E7	5.432.087	12.036.182	11	2.495.160	2.187	13.596

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



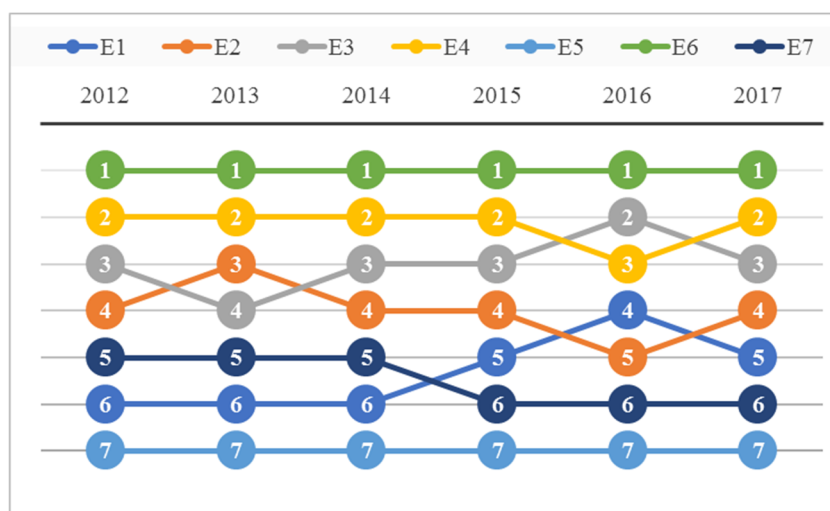
Nas Figuras 1 e 2 encontram-se os resultados de ordenação das alternativas por ano em relação a cada indicador, respectivamente pelas metodologias TOPSIS e VIKOR.

Figura 1 – Ordenamento das alternativas por ano pelo método TOPSIS



Fonte: Próprio autor

Figura 2 – Ordenamento das alternativas por ano pelo método VIKOR



Fonte: Próprio autor

Na próxima seção serão analisados os resultados demonstrados nas figuras acima.

#### 4. Análise e Discussão de Resultados

Pelas Figuras 1 e 2, verifica-se que ano a ano, há uma correspondência na ordenação das alternativas segundo os critérios definidos, entre os métodos TOPSIS e VIKOR, e aparentemente as ordenações, se coadunam com os indicadores propostos, consignados na Tabela 3. Apenas em três situações as ordenações das alternativas não coincidiram, foram os casos das empresas: [E2] e [E3] em 2013, [E6] e [E4] em 2014, e [E2] e [E1] em 2016, situação que já era esperada, pois os modelos TOPSIS e VIKOR apresentam diferenças metodológicas, especialmente no que concerne a forma de normalização (OPRICOVIC; TZENG, 2004).

Enquanto, o método VIKOR usa normalização linear (Eq. 6), e o valor normalizado não depende da unidade de avaliação de um critério; já o método TOPSIS usa a normalização vetorial (Eq. 1), e o valor normalizado pode ser diferente para diferentes unidades de avaliação de um critério específico. Passando para a análise detalhada da ordenação das empresas, nota-se que a empresa [E6] se mantém na 1ª colocação em todos os anos, em ambos métodos, exceto em 2014 pelo TOPSIS. Analisando os indicadores da referida empresa constata-se que ocupa sempre a 1ª posição em número de consumidores, e ocupa posições médias nos demais indicadores, demonstrando um equilíbrio nas 3 dimensões, sendo o suficiente para lhe assegurar essa posição privilegiada. A empresa [E4], em ambos métodos ocupa na maioria dos anos a 2ª colocação, com exceção no ano de 2016, que ocupa a 3ª colocação, em ambos métodos, e em 2014, pelo TOPSIS, ocupa a 1ª colocação. Verifica-se que sua força motriz está no EBTIDA, e a princípio só não ocupa a 1ª posição porque apresenta consumo de água acima da média, tanto que em 2014, a melhora deste indicador propiciou ocupar a 1ª posição pelo TOPSIS, no entanto, em 2016 o seu EBTIDA sofre uma considerável redução, e apesar de uma melhora nas emissões, não foi o suficiente para evitar a queda para 3ª posição, dando lugar a [E3] na 2ª colocação. Retornando a 2ª posição em 2017, quando novamente há um forte crescimento do EBTIDA. Quanto a empresa [E3], se mantém na 3ª posição ao longo dos anos, exceto em 2013 pelo VIKOR, caindo para 4ª posição e em 2016 ascendendo a 2ª posição, nos dois métodos, fato explicado acima. Esse indicador se destaca pelo baixo consumo de água e de ocorrências de acidentes fatais. Porém, esses números não se distanciam muito dos mesmos indicadores das empresas descritas anteriormente, que ocupam melhores posições. A queda em 2013, pelo VIKOR, pode ser explicada pela aproximação da empresa [E2] em todos índices, sendo o suficiente para essa alteração de ordenação neste ano. Prosseguindo com a análise, verifica-se que a empresa [E2], encontra-se na 4ª posição ao longo dos anos, exceto pelo VIKOR, tanto em 2013 que sobe para 3ª posição, já explicado, como em 2016 que desce para a 5ª posição. Essa empresa apresenta baixo índice de consumo de água e de ocorrências de acidentes fatais, porém os piores EBTIDAS, o que não a deixou alavancar melhores posições. Essa queda em 2016 pelo VIKOR, com ascensão da [E1], deve-se ao leve aumento de consumo de água da [E2], em contrapartida [E1], não teve piora dos seus indicadores. A empresa [E7] ocupa a 5ª posição entre 2012 e 2014, e a 6ª posição nos anos de 2015 a 2017. Há um desequilíbrio em seus indicadores, pois apresenta baixos índices de emissões, acidentes fatais e OPEX, em contrapartida com baixo número de consumidores e EBTIDA, com consumo de água oscilando ao longo dos anos, entre acima e abaixo da média. Esse desequilíbrio o manteve em patamares baixos, sendo que a partir do ano de 2015, nota-se uma oscilação maior dos valores dos seus indicadores, em relação a [E1], que passa a ocupar a 5ª posição. Passando para [E1], constata-se que ocupa a 6ª posição até 2014 e a partir daí até 2017, a 5ª posição, exceto em 2016 que passa para 4ª posição, essas ascensões já foram explanadas anteriormente. A empresa [E1],

apresenta baixo número de consumidores, considerável quantidade de acidente fatais, e baixo OPEX, com os demais indicadores oscilando na média e abaixo. Finalmente a empresa [E5], ocupa a última posição em todos os anos, e a explicação se evidencia pelos seus indicadores de emissões, consumo de água, acidentes fatais e OPEX, que são os maiores em quase todos os anos, com oscilação dos demais abaixo e acima da média.

## **5. Conclusões**

Esta pesquisa alcançou seu objetivo de propor uma metodologia multicritério de avaliação do desempenho sustentável das principais empresas do setor elétrico pela utilização dos métodos TOPSIS e VIKOR, no ciclo de 2012 a 2017, objetivando determinar uma ordenação ano a ano dessas empresas em relação a indicadores selecionados do GRI, em meio as adversidades de ordem financeira, hídrica e governamental descritas na introdução, auxiliando na comparação entre estas e servindo como benchmarking para melhorias futuras, servindo como referência, para as que não alcançaram o nível de excelência, possam rever a sua gestão, empregando as melhores práticas.

A busca por alternativas mais sustentáveis considerando diversos critérios quantitativos visa obter no campo da energia uma maior qualidade ambiental para a sociedade atual, e principalmente, para as gerações futuras.

No estudo de caso constatou-se que a Empresa [E6] foi a melhor classificada em 5 dos 6 anos analisados, ficando 1 ano na 2ª colocação, pelo método TOPSIS, entretanto o indicador “consumidores” foi o que alavancou sua posição, mas é importante se averiguar, pois apesar de ficar acima das demais alternativas, encontra-se em queda gradual ao longo dos anos. Por outro lado, a empresa [E5], foi a última colocada em ambos métodos, e esse mau desempenho, a princípio, está amparado pelo seu maior porte em relação as demais, sendo atingida com mais rigor pelas crises ocorridas no período sob análise.

Os resultados da aplicação dos métodos TOPSIS e VIKOR conduziram a uma ordenação que se mostrou coerente com a performance das empresas estudadas quanto aos seus indicadores, e quanto ao relatado contexto regulatório, econômico e climático dos relatórios analisados. Esses achados são relevantes, pois permitem aos *stakeholders* decidirem em quais organizações vão investir seus recursos, se comprometerem ou se engajarem, facilitando a transparência para a tomada de decisão.

Assim, tem-se a expectativa de que em futuros estudos, mais problemas de cunho sustentável serão abordados e analisados, com mais indicadores e alternativas, e uso conjunto de métodos alternativos que utilizem ferramentas mais avançadas.

## **Agradecimentos**

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

## Referências

Afsordegan, A., Sánchez, M., Agell, N., Zahedi, S. e Cremades, L. V., “Decision making under uncertainty using a qualitative TOPSIS method for selecting sustainable energy alternatives”. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13:1419–1432, 2016.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. ”Indicadores”. [http://www2.aneel.gov.br/cedoc/\\_Proret\\_Submod\\_2\\_2\\_v3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/_Proret_Submod_2_2_v3.pdf). [Accessed em 15/12/2018].

Barros, C.P. e Wanke, P.. “An analysis of African airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks”. *Journal of Air Transport Management* 44-45 90e102, 2015.

BMFBOVESPA. “Índices de Sustentabilidade Empresarial (ISE)” [online] Available: [http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/produtos/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-de-sustentabilidade-empresarial-ise.htm](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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/Lei/L12783.htm) [Accessed] 10/12/2018.

Cinelli, M., Coles, S. R. e Kirwan, K.. “Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment”. *Ecol. Indic.* 46, 138–148. 2014. doi:10.1016/j.ecolind.2014.06.011

Dapper, S. N., Spohr, C., Zanini, R. R. "Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo" *Estudos Avançados* Vol.30 n.86, 2014.

Duckstein, L., Opricovic, S., 1980. Multiobjective optimization in river basin development. *Water Resources Research* 16 (1), 14–20

ELETROBRÁS. Relatório Anual e de Sustentabilidade 2012. [online] available: [http://eletrobras.com/pt/SobreaEletrobras/Relatorio\\_Anuar\\_Sustentabilidade/2012/.pdf](http://eletrobras.com/pt/SobreaEletrobras/Relatorio_Anuar_Sustentabilidade/2012/.pdf) [Accessed] 10/12/2018.

ELETROBRAS. Relatório Anual e de Sustentabilidade 2015. [online] available: [http://eletrobras.com/pt/SobreaEletrobras/Relatorio\\_Anuar\\_Sustentabilidade/2015/.pdf](http://eletrobras.com/pt/SobreaEletrobras/Relatorio_Anuar_Sustentabilidade/2015/.pdf) [Accessed] 10/12/2018.

Gonzalez, E.D.R.S., Sarkis, J., Huisingsh, D., Huatuco, L.H., Maculan, N., Montoya-Torres, J. R. e Almeida, C.M.V.B.. “Making real progress toward more sustainable societies using decision support models and tools”: Introduction to the special volume. *J. Clean. Prod.* 105, 1–13, 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2015.05.047

Huang1, J.J., Gwo-Hshiang Tzeng1, G.H. and Hsiang-Hsi Liua, H.H. Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making - The Perspective of Regret Theory December 2008 *Communications in Computer and Information Science* 35:761-768. DOI: 10.1007/978-3-642-02298-2\_112. In book: *Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making*

Hwang, C.L., Lai, Y.J. e Liu, T.Y.. “A new approach for multiple objective decision making”. *Computers Ops Res.* Vol. 20, No. 8, pp. 889-899. 1993.

Hwang, C.L. e Yoon, K.. “Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications”. Springer. Verlag, Berlin, 1981.

Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., Khan, S. A., Jabbour, C. J. C., Rehman, S. T., & Kusi-Sarpong, H. (2019). Sustainable supplier selection based on industry 4.0 initiatives within the context of circular economy implementation in supply chain operations. *Production Planning and Control*.

Le Roux, C. e Pretorius, M. (2016). Conceptualizing the Limiting Issues Inhibiting Sustainability Embeddedness. *Sustainability*, 8(4), 364.

Lima Junior, F. R.; Carpinetti, L. C. Aplicação do método TOPSIS na avaliação dos critérios utilizados na seleção de docentes em uma instituição de ensino superior. V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015.

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.

Olson, D.L.. “Comparison of Weights in TOPSIS Models”. *Mathematical and Computer Modelling* 40 721-727, 2004.

Opricovic, S., and Tzeng, G.H.. “Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”. *European Journal of Operational Research* 156: 445–55. 2004.

Opricovic, S.; Tzeng, G.-H Extended VIKOR method in comparison with outranking methods *European Journal of Operational Research* Volume 178, Issue 2, 16 April 2007, Pages 514-529

Perrott, B. (2014). The sustainable organization: Blueprint for an integrated model. *Journal of Business Strategy*, 35(3): 26-37.

Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitiene, I., Belezentis. A., “Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach”. *Renew Sustain Energy Rev*, 16:3302e11. 2012.

Yu, P. L. A class of solutions for group decision problems. *Management Science*, v. 19, n. 8, p. 936-946, 1973.