

Desempenho ambiental de cenários da matriz elétrica brasileira utilizando avaliação do ciclo de vida

Environmental performance of Brazilian power matrix scenarios using life cycle assessment

RESUMO

Bruno Silva Ribeiro
brunosilvaribeiro321@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Cassiano Moro Piekarski
piekarski@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Um dos maiores problemas envolvendo a produção de energia elétrica está no estabelecimento de quais matrizes elétricas são as mais sustentáveis. Este estudo relatado realizou uma revisão bibliográfica de matrizes elétricas e produção de energia renovável através de métodos que envolvam tomada de decisão de multicritério com o objetivo de indicar os critérios mais adotados na literatura. Para uma análise das diferentes formas de produção e planejamento energético, é utilizado o Método Tomada de Decisão Multicritério (MTDM), onde investiga-se critérios de escolha com seus pesos. Foi feita uma revisão bibliográfica sistemática, onde foram selecionadas algumas palavras-chave e a busca nas bases de dados (*Web of Science*, *Science Direct* e *Scopus*). Por fim, grande parte dos estudos utilizaram o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), pois, com esse é possível estabelecer um ranking final das pontuações adquiridas pelo método. Os principais critérios analisados pelas dimensões ambiental, econômica, social e técnica foram custos de manutenção, custos de investimento, emissões de gases efeito estufa, uso de terreno, criação de empregos e eficiência das matrizes elétricas.

PALAVRAS-CHAVE: MTDM. Sustentabilidade. Energia elétrica.

ABSTRACT

One of the biggest problems involving electric power production lies in establishing which electrical arrays are the most sustainable. This reported study performed a bibliographic review of electrical matrices and renewable energy production through multicriteria decision making methods aiming to indicate the most adopted criteria in the literature. For an analysis of the different forms of energy production and planning, the Multicriteria Decision Making Method (MTDM) is used, which investigates the selection criteria with their weights. A systematic bibliographic review was made, where some keywords were selected and the search in the databases (*Web of Science*, *Science Direct* and *Scopus*). Finally, most studies used the *Analytic Hierarchy Process* (AHP) method, because it is possible to establish a final ranking of the scores obtained by the method. The main criteria analyzed by the environmental, economic, social and technical dimensions were maintenance costs, investment costs, greenhouse gas emissions, land use, job creation and efficiency of electrical matrices.

KEYWORDS: MDMM. Sustainability. Electricity.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas envolvendo a produção de energia elétrica está na utilização de recursos não renováveis e as consequências que a exploração desses recursos traz. O objetivo dos estudos vem se tornando estabelecer métodos que avaliem as fontes de energia elétrica renováveis, ou seja, fontes que utilizem de meios confiáveis de produzir energia, e que tornem a aplicação das matrizes viáveis, tal como afirma Abu-Taha, R. (2011), Begić, F., & Afgan, N. H. (2007) e Brand, B., & Missaoui, R. (2014).

Para uma análise das diferentes formas de produção e planejamento energético, é utilizado pelos estudos Métodos Tomada de Decisão Multicritério (MTDM), onde investiga-se critérios de escolha com seus pesos. Esses envolvem a área da sustentabilidade, que é representada pelas dimensões ambientais, econômicas e sociais, e a área técnica. Cada uma dessas quatro características podem ser subdivididas para maior especificidade e critérios de escolha e terão maiores pesos de acordo os tomadores de decisão.

Com intuito de realizar análises de desempenho considerando a Avaliação de Ciclo de Vida juntamente com demais critérios (econômicos, sociais, tecnológicos, por exemplo) se faz necessário identificar critérios que possam ser considerados em planejamento de sistemas elétricos utilizando MTDM. Neste sentido, este estudo relatado realizou uma revisão bibliográfica de matrizes elétricas e produção de energia renovável através de métodos que envolvam tomada de decisão de multicritério com o objetivo de indicar os critérios mais adotados na literatura para proporcionar condições de desenvolvimento científico e modelagens matemáticas de cenários ótimos para o desempenho ambiental de matriz elétrica brasileira com base em métodos multicritérios. A estrutura deste relatório é dividida em três seções: Metodologia, Resultados e Conclusão.

METODOLOGIA

A investigação realizada no presente artigo foi gerada a partir de uma revisão bibliográfica sistemática. A primeira etapa foi a definição das palavras-chave e suas combinações.

Após escolhidas as palavras-chave, realizou-se a segunda etapa, a busca nas bases de dados (*Web of Science*, *Science Direct* e *Scopus*), sem limitação de cobertura temporal. Os documentos obtidos foram gerenciados com auxílio do gerenciador de referências Mendeley e auxílio de uma planilha eletrônica, onde foi possível realizar filtros e ranqueamento dos artigos para a composição do portfólio final de leitura. Como observado na Figura 1, onde há o esquemático das etapas e dos de filtro para seleção dos artigos.

Figura 1: Seleção do Portfólio Final

Etapa 1		Definição das Palavras-chave								
		Q1			Q2			Q3		
Etapa 2	Base de Dados	Web of Science	Scopus	Science Direct	Web of Science	Scopus	Science Direct	Web of Science	Scopus	Science Direct
Filtro 1		Exclusão da literatura cinza								
Total de Artigos por Base		4	18	50	13	18	53	112	18	265
Total		72			84			395		
Filtro 2		Após exclusão para alinhamento à temática								
Portfólio Final		26								

Fonte: Autoria Própria (2019)

Para selecionar os documentos foram realizados os seguintes filtros: O primeiro filtro foi a exclusão de leitura cinza, o segundo filtro foi a exclusão dos artigos mediante alinhamento com a temática em estudo após a leitura do título, resumo e palavras chaves. Assim, foi possível eliminar todos os artigos que não se relacionam com o tema, resultando em 26 artigos que foram apresentados e discutidos neste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram utilizados métodos de tomada de decisão de multicritério a fim de obter resultados que se adequem às situações que possam ser estabelecidas. De acordo com Büyüközkan & Karabulut (2017), foram realizados estudos de caso onde a análise multicritério escolhida pudesse ser aplicada em casos reais, para que dessa forma haja pelo menos uma perspectiva de aplicações em situações similares, já que todos os casos têm suas particularidades.

A seguir, no Quadro 1, é mostrado os principais métodos multicritério utilizados pelos autores analisados. Alguns dos estudos não citados do quadro utilizaram métodos adaptados a fim de adquirir resultados mais adequados àquilo que o escopo exige.

Quadro 1 – Principais métodos multicritérios utilizados para avaliação de desempenho de matrizes elétricas.

Métodos principais	Referências
AHP	Brand, B., & Missaoui, R. (2014), Stein, E. W. (2013), Wu, Y., Xu, C., & Zhang, T. (2018)
ELECTRE	Brand, B., & Missaoui, R. (2014), Begić, F., & Afgan, N. H. (2007), Stein, E. W. (2013)
VIKOR	Begić, F., & Afgan, N. H. (2007), Wu, Y., Xu, C., & Zhang, T. (2018)
TOPSIS	Brand, B., & Missaoui, R. (2014) Begić, F., & Afgan, N. H. (2007)
PROMETHEE	Brand, B., & Missaoui, R. (2014), Stein, E. W. (2013)

Fonte: Autoria Própria (2019)

Pode-se observar que a maioria dos estudos se utilizou dos métodos AHP, PROMETHEE, ELECTRE ou TOPSIS. Estudos tal como Begić & Afgan (2007) e Brand & Missaoui (2014) adaptaram os métodos de multicritério e utilizaram mais de um método, com o intuito de comparar resultados entre diferentes critérios.

Para a tomada de decisão, foram estabelecidos os critérios separados pelas dimensões da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) e técnico para avaliação de desempenho de sistemas de geração de energia elétrica no mundo. Cada critério terá seu peso de acordo com a escolha das partes interessadas.

No Quadro 2 são mostradas as dimensões e os critérios utilizados de acordo com os 26 artigos selecionados e apresentados no relatório completo de iniciação científica. Os estudos consideram dimensões econômicas, sociais e técnicas associadas a dimensão ambiental, onde pode-se utilizar a Avaliação de Ciclo de Vida para mensurar o desempenho de sistemas de geração de energia elétrica.

Quadro 2 - Principais dimensões e critérios utilizados para avaliações multicritério de desempenho de matrizes de geração de energia elétrica

Dimensões	Critérios
Econômico	Custos de manutenção
	Suporte econômico
	Custos de investimento
	Payback time
Ambiental	Impacto ambiental e mudança climática
	Emissões de gases efeito estufa
	Consumo de recursos naturais
	Uso de terreno
Social	Impacto na saúde
	Impacto visual
	Aceitação social
	Criação de empregos
	Benefícios sociais
Técnico	Eficiência
	Grau de confiabilidade
	Segurança
	Viabilidade
	Vida útil
	Maturidade

Fonte: Autoria Própria (2019)

Alguns critérios não são considerados por serem muito específicos ao estudo, portanto, foram agregados com algum critério exposto no Quadro 3. O estudo como o do Wu, Y., Xu, C., & Zhang, T. (2018) inclui alguns critérios de dimensão técnica na dimensão econômica. Esses critérios foram expostos de acordo com este trabalho e não como o estudo original, contudo, o critério ainda representa muito bem a característica que o autor original tinha em seu escopo.

É possível analisar com o Quadro 3 que há uma preocupação significativa em critérios que envolvem custos de manutenção e de aplicação da matriz elétrica,

como também o bom aproveitamento da área de aplicação desses sistemas de energia. A preocupação desses critérios está no fato de que, para que as fontes de energia renováveis sejam aplicáveis e que possam substituir os meios convencionais de produzir energia (através do petróleo, carvão mineral, gás natural), elas necessitam ter custos muito reduzidos, afinal, apesar de terem uma vantagem ambiental e uma confiabilidade a longo prazo maior, as fontes renováveis ainda são relativamente caras de se aplicar e manter segundo Begić, F., & Afgan, N. H. (2007) e Buyukozkan, G., & Karabulut, Y. (2017).

CONCLUSÃO

A maior parte dos estudos utilizaram do método Analytic Hierarchy Process (AHP), pois, com esse é possível estabelecer um ranking final das pontuações adquiridas pelo método. Contudo, as análises se estendem através de outros métodos dentro dos mesmos estudos, a fim de se obter maiores possibilidades de escolha para tomadores de decisão.

Os principais critérios analisados pelas dimensões ambiental, econômica, social e técnica foram custos de manutenção, custos de investimento, emissões de gases efeito estufa, uso de terreno, criação de empregos e eficiência das matrizes elétricas.

Por fim, pode-se afirmar que esta pesquisa auxilia o desenvolvimento futuro de estudos de avaliação de ciclo de vida para mensuração de desempenho ambiental de matrizes de geração de energia elétrica considerando outros critérios importantes para tomada de decisão encontrados na literatura.

REFERÊNCIAS

Abu-Taha, R. (2011). **Multi-criteria Applications in Renewable Energy Analysis: A Literature Review**. In Kocaoglu, DF and Anderson, TR and Daim, TU (Ed.), 2011 PROCEEDINGS OF PICMET 11: TECHNOLOGY MANAGEMENT IN THE ENERGY-SMART WORLD (PICMET).

Begić, F., & Afgan, N. H. (2007). **Sustainability assessment tool for the decision making in selection of energy system—Bosnian case**. *Energy*, 32(10), 1979–1985.

Brand, B., & Missaoui, R. (2014). **Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 251–261.

Buyukozkan, G., & Karabulut, Y. (2017). **Energy project performance evaluation with sustainability perspective**. *ENERGY*, 119, 549–560.

Stein, E. W. (2013). **A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 640–654.

Wu, Y., Xu, C., & Zhang, T. (2018). Evaluation of renewable power sources using a fuzzy MCDM based on cumulative prospect theory: A case in China. ENERGY, 147, 1227–1239.