

## ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PROCESSO INDUSTRIAL

NIKOLAS C.R. SILVA<sup>1</sup>, BRUNO A. SOUZA<sup>2</sup>, ELCIO R. ARANHA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Tecnologia em Automação Industrial, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Cubatão, [Caldeira.N92@gmail.com](mailto:Caldeira.N92@gmail.com)

<sup>2</sup> Graduando em Tecnologia em Automação Industrial, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Cubatão, [Brunoandradesouza@yahoo.com](mailto:Brunoandradesouza@yahoo.com)

<sup>3</sup> Aluno de pós-graduação na UFABC e Professor do IFSP – Cubatão/SP. [elcio.aranha@ufabc.edu.br](mailto:elcio.aranha@ufabc.edu.br); [aranha@ifsp.edu.br](mailto:aranha@ifsp.edu.br).

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.03-3 Engenharia

Apresentado no  
8º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP  
06 a 09 de novembro de 2017 - Cubatão-SP, Brasil

**RESUMO:** A apuração de indicadores de desempenho para eficiência energética pode ter o cálculo influenciado por questões culturais, limitações técnicas e econômicas. Há casos em que o mesmo cenário, ao ser analisado em abordagens distintas apresentam índices contraditórios e discrepantes para os dados de eficiência energética. Estas discrepâncias reforçam o contraditório e impossibilitam que as operações tenham um conjunto de indicadores de desempenho conciso e assertivo para o acompanhamento da planta e tomada de decisão gerencial. Os diversos processos industriais podem conviver com variações no consumo de energia e variações na eficiência de energia sem apresentar significativos desvios nos indicadores tradicionais de desempenho da produção e produtividade do produto final. Indicadores dinâmicos de desempenho podem ser estabelecidos com base no histórico produtivo, consumo de energia, eficiência energética, produção e qualidade do produto final com o auxílio de Múltiplos Critérios de Tomada de Decisão (MCDM) e de ferramentas para a mineração de dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** MULTICRITÉRIO; MCDM; EFICIÊNCIA; TOPSIS; ENERGÉTICA.

### MULTICRITERARY ANALYSIS FOR THE EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY IN INDUSTRIAL PROCESS

**ABSTRACT:** The calculation of performance indicators for energy efficiency may be influenced by cultural, technical and economic constraints. There are cases where the same scenario, when analyzed in different approaches, presents contradictory and discrepant indices for the energy efficiency data. These discrepancies reinforce the contradictory and make it impossible for operations to have a set of concise and assertive performance indicators for plant monitoring and management decision making. The various industrial processes can coexist with variations in energy consumption and variations in energy efficiency without showing significant deviations in the traditional indicators of production performance and productivity of the final product. Dynamic performance indicators can be identified based on production history, energy consumption, energy efficiency, production and quality of the final product with the help of Multiple Decision-Making Criteria (MCDM) and data mining strategies.

**KEYWORDS:** Multicriteria, MCDM, Efficiency, TOPSIS, Energetics.

## INTRODUÇÃO

Diversos fatores podem influenciar a definição de indicadores de desempenho para a eficiência energética. Questões técnicas e teóricas podem alterar significativamente a apuração e a meta estabelecida para um indicador. Aspectos importantes foram tratados por Cullen e Allwood (2010) no momento de considerar a definição de sistemas de medição de eficiência energética e acompanhamento de processos [1].

Nos processos produtivos, de modo geral, não há uma definição consolidada para um grupo de indicadores de desempenho operacional com apuração instantânea, tanto quanto a definição dos indicadores bem como quanto aos pesos e análises que devem ser fundamentados para o processo. O trabalho tem como propósito verificar se há como estabelecer um método para escolha, ponderação e peso dos indicadores a partir da análise de dados históricos de uma operação unitária. O trabalho de Patterson (1996) será tomado como base teórica para a definição e escolha dos indicadores e a metodologia de análise multicritério Topsis (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) será a base quantitativa para a comparação dos dados históricos [2].

As informações dos indicadores de desempenho dinâmicos, quando disponibilizadas para as equipes de operação em conjunto com ações de gerenciamento, podem facilitar a conscientização das operações ou até mesmo ações corretivas nos processos industriais sempre que necessárias [3] e [4].

O objetivo da pesquisa é identificar, mensurar e propor um método para avaliação de desempenho energético de uma etapa produtiva (operação unitária) quanto a eficiência.

## MATERIAL E MÉTODOS

Em um processo industrial, existem diversas variáveis que contribuem para uma produção mais eficiente e de melhor qualidade, mas pode não haver um controle do processo que indique a eficiência e consumo de energia. Este trabalho procurou definir um método, usando TOPSIS, para indicar e avaliar o cenário produtivo de melhor eficiência energética. Cada cenário discreto e significativo foi caracterizado como uma alternativa (cenário a ser avaliado) para o método. Os valores das variáveis do processo, para cada uma das alternativas, foram utilizados como critério de seleção. Desta forma o TOPSIS pode determinar a alternativa (das possíveis para o cenário produtivo) como a mais próxima da alternativa ideal (Solução Ideal Positiva, PIS).

### Algoritmo TOPSIS

O método TOPSIS pode ter seu algoritmo descrito pelos seguintes passos [5]:

1º Construção da matriz de decisão: gerar uma matriz de um cenário na qual deseja aplicar o método, com  $m$  alternativas e  $n$  critérios. Neste passo as alternativas e critérios colhidos do histórico são identificados.

2º Cálculo da matriz normalizada: normalizar a matriz do cenário, para que seja possível representar os valores dos critérios em uma mesma dimensão e significado conforme representado na equação (1).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

3º Cálculo da matriz ponderada: com base na matriz normalizada os pesos dos critérios ( $w$ ) que foram definidos pelo decisor ou grupo de decisores são considerados e ponderados conforme representado na equação (2).

$$p_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (2)$$

4º Identificação da PIS e da NIS: identificar a Solução Ideal Positiva (PIS) e a Solução Ideal Negativa (NIS) para cada alternativa por meio da definição do máximo e mínimo desempenho que podem ser alcançados pelas alternativas durante a avaliação em relação a cada critério de decisão, equação (3) e equação (4).

$$S^+ = \{(maxr_{ij}|j \in J), (minr_{ij}|j \in J')\} \quad (3)$$

$$S^- = \{(minr_{ij}|j \in J), (maxr_{ij}|j \in J')\} \quad (4)$$

5º Cálculo da distância euclidiana entre a PIS, equação ( $D_i^+$ ) e a NIS, equação ( $D_i^-$ ): cálculo dos resultados que mais se aproximam da Solução Ideal Positiva e mais se distanciam da Solução Ideal Negativa. As distâncias euclidianas PIS e NIS podem ser calculadas a partir das equações representadas em (5) e em (6).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (n_{ij} - n_j^+)^2} \quad (5)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (n_{ij} - n_j^-)^2} \quad (6)$$

6º Obter a similaridade para a posição ideal através do Coeficiente de Aproximação: cálculo final para estabelecer o ranking do resultado das alternativas que mais se aproxima da Solução Ideal, este cálculo pode ser representado pela equação (7).

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)} \quad (7)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar da existência de diversos trabalhos que utilizaram MCDM para avaliar e identificar dentre as alternativas a de interesse com base nos critérios de seleção, neste trabalho, o MCDM até foi capaz de apurar o cenário produtivo (alternativa) de melhor eficiência energética, mas a seleção e agrupamento dos dados históricos do processo para compor os diversos cenários produtivos foi tarefa complexa e de difícil reprodução. Por conta da dificuldade de reprodução é necessário que tratativas para o auxílio na seleção dos cenários e agrupamento dos mesmos sejam utilizadas, mas a utilização de tal ferramenta não foi escopo deste trabalho. Sendo assim a seleção de uma tratativa para a seleção e agrupamento dos dados é fundamental para o sucesso de trabalhos futuros. Desta forma ferramentas para a mineração de dados podem vir a ser uma solução plausível para atender a demanda de seleção e agrupamento de dados neste tipo de aplicação de MCDM.

## CONCLUSÕES

A utilização do TOPSIS para avaliar e identificar, com base nos critérios de seleção, a alternativa de interesse em um cenário complexo, composto por diversos cenários produtivos, pode ser aplicável desde que ferramentas de auxílio na seleção dos cenários e seu agrupamento sejam aplicadas no projeto. Foi possível avaliar o cenário produtivo, mas não foi estabelecido um procedimento de seleção de cenários e agrupamento que possa ser reproduzível.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSP Câmpus Cubatão pela bolsa de iniciação científica e oportunidade de desenvolver e apresentar este trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] CULLEN, J. M; ALLWOOD, J. M. Theoretical efficiency limits for energy conversion devices. **Energy**, v.38,p.331,jan.de 2012
- [2] PATTERSON. M.G. What is energy efficiency? **Energy Policy**, v. 24, p.355-390, 1996.
- [3] TAVARES, F. V.; MONTEIRO, L. Universidade Federal de Santa Catarina, Grupo de engenharia do produto e processo. Indicadores de eficiência energética na indústria de fertilizantes de amônia. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.9, n.2, p. 216- 223, 2014.
- [4] VALETE, Em busca por um número ótimo. **Revista Controle & Instrumentação** – Edição nº 72 – São Paulo - SP. Agosto de 2002;
- [5] HWANG, C. L. & YOON, K. P. **Multiple attributes decision making methods and applications**. Berlin: Springer-Verlag, 1981.