

MODELO DE CLASSIFICAÇÃO PARA SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES INDUSTRIAIS PARA O ALCANCE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Perseu Padre de Macedo

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Prof Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife – PE
perseupadre@gmail.com

Caroline Maria de Miranda Mota

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Prof Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife – PE
carol3m@gmail.com

Antonio Vanderley Herrero Sola

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Av. Monteiro Lobato, Km 04, Ponta Grossa - PR
sola@utfpr.edu.br

RESUMO

Devido ao preço da energia e a certeza do seu aumento nos anos subsequentes caso as políticas energéticas permaneçam da mesma forma, o problema energético será uma das principais barreiras para o alcance da estabilidade econômica do país. Dessa forma, após observado os sistemas industriais de energia e os responsáveis por maior consumo, foi estabelecida uma lei que fornece níveis máximos de utilização de energia, implicando a adequação das indústrias a esses níveis de rendimento. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo encontrar uma classificação para substituição de motores industriais em uma empresa do setor químico para o alcance da eficiência energética, por meio de um modelo que utilizou o ELECTRE TRI. Em seguida, realizou-se uma simulação de sua aplicação, apresentando como resultado uma classificação dos motores em classes de priorização, permitindo observar aqueles que necessitam de uma substituição imediata ou passível de aguardar recurso para uma substituição futura.

PALAVRAS CHAVE. Análise multicritério. Eficiência energética. ELECTRE TRI.

Área principal (Apoio Multicritério à Decisão)

ABSTRACT

Because the price of the energy and the certain of your increasing in subsequent years if energy policies remains the same, the energy problem will be one of the major barriers to the achievement of economic stability. Thus, after observing the industrial energy systems and those responsible for higher consumption, a law was established to provide maximum levels of energy use, implying the appropriateness of these industries to income levels. In this context, the study aimed to find a replacement rating for industrial motors in a chemical company to achieve energy efficiency through a model that used the ELECTRE TRI. Then performed a simulation of your application, presenting results in a ranking of the motors in classes of prioritization, allowing to observe those who need immediate substitution or able to wait resources for a future replacement.

KEYWORDS. Multicriteria Decision Making. Energy efficiency. ELECTRE TRI.

Main area (Multicriteria Decision Support)

1. Introdução

Diante o atual cenário do país em busca da estabilidade econômica, por meio da redução de taxas, incentivos públicos e fiscais, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) por causa do preço da energia e a certeza do seu aumento nos anos subsequentes caso as políticas energéticas atuais permaneçam da forma que estão, o problema energético será uma das principais barreiras para o alcance dessa estabilidade.

O setor industrial é responsável pelo consumo de um terço de toda energia produzida e responsável pela emissão de 40% de CO₂ no planeta, sendo um alvo oportuno para o alcance da eficiência energética. Para Sola & Mota (2012), tecnologias eficientemente energéticas reduzem a emissão de gases e conseqüentemente a indústria ganha em produtividade, adequação as políticas ambientais, políticas energéticas e outros benefícios. Porém a relutância das empresas em investimentos energéticos tecnologicamente eficientes vem sendo reconhecida desde o final da década de 1970, este gap de eficiência ficou conhecido por “paradoxo da energia”. Ou seja, de acordo com Jackson (2010), as indústrias rejeitam investimentos que proporcionam economia de energia mais do quanto estas custam.

Para esse problema de seleção tecnológica a fim de melhorar a eficiência energética nas indústrias, um problema de decisão é diretamente ligado às barreiras organizacionais relacionadas com a energia. Os critérios e alternativas envolvidas nesse problema apresentam-se de forma escassa, dada a falta de experiência com o assunto, informações imprecisas sobre a poupança de energia, custos e benefícios das novas tecnologias, isso resulta em uma falha no planejamento e nos procedimentos geridos pelas organizações. (SOLA et al, 2011). A tomada de decisão nestas indústrias torna-se quase inviável pela falta de compreensão e informação sobre o problema. Stern e Aronson (1984) expõem que há duas características nesta situação: a indústria é um conjunto de atores potencialmente incompatíveis em seus objetivos e esta não trabalha com informações completas e precisas. Logo, essas diferentes preocupações devem atender a diferentes critérios, os quais uns são relevantes a nível operacional e outros a nível de decisão.

Neste contexto, os modelos de decisão multicritério podem ser utilizados para solucionar esses problemas complexos, caracterizados pela presença de interesses conflitantes, propondo uma ferramenta que permita a tomada de decisão de forma concisa. Os métodos de sobreclassificação, quando tratados com a lógica fuzzy podem trabalhar com a imprecisão e avaliações linguísticas associadas às informações dos decisores. Para Sola et al.(2011), a aplicação do MCDA na indústria de motores ainda não é tão explorada. Assim, no atual cenário, o apoio a tomada de decisão usando esses modelos multicritério pode auxiliar no alcance da eficiência energética.

Com isso, o trabalho busca encontrar uma classificação para os motores industriais de uma empresa do setor químico, por meio de um conjunto de fatores levantados pelo decisor que estão relacionados ao problema de substituição desses para o alcance da eficiência energética. O método de sobreclassificação ELECTRE TRI será utilizado para prover informações concisas, mediante a imprecisão associada as informações da empresa, para lidar com o problema.

2. Os Sistemas Industriais de Energia e as Barreiras com a Eficiência Energética

No uso final, o objetivo da melhoria da eficiência energética é a redução da quantidade demandada de energia por meio da melhoria da eficiência, conseqüentemente isso reduz perdas de energia, sem prejuízo à produção, qualidade, conforto e lazer. Os sistemas industriais de energia no Brasil, responsáveis por fornecerem o processo de aquecimento, refrigeração ou de energia elétrica para a transformação das matérias-primas e fabricação de produtos finais, conforme o Ministério das Minas e Energia (MME, 2005), são classificados conforme o seu uso final: Força Motriz; Calor de Processo; Aquecimento Direto; Refrigeração e Ar-Condicionado; Iluminação; Eletroquímica e outros. A destinação final de energia elétrica varia em função da atividade e da empresa e o cenário brasileiro divide os setores industriais em onze grupos, onde o sistema industrial que representa o maior consumo de energia elétrica nesses setores é a Força Motriz, por meio de sua energia utilizada em motores elétricos e à combustão.

Apenas o desenvolvimento tecnológico para a substituição desses motores não é

suficiente para a melhoria da eficiência energética, deve-se utilizar mecanismos indutivos por meio de sistemas de gestão energética, conscientização, capacitação pessoal sobre o uso da energia e apoio a tomada de decisão para alcançar essa melhoria.

Porém, segundo DeCanio (1998) tais medidas encontram impedimentos que não aparecem nos investimentos da empresa, obstruindo a exploração da conservação da energia, tal fenômeno é conhecido como paradoxo da energia, uma forte evidência da existência de barreiras para o uso eficiente da energia nas organizações. As principais barreiras identificadas são: Decisão e estratégia; Custo e orçamento; Riscos e incertezas; Gestão; Conscientização e especialização.

Quando a empresa está focada na produção, ela busca evitar sua interrupção por parada de equipamentos, seja para substituição ou manutenção, sua preocupação em relação a isso é maior que as futuras variações no preço da energia, isso por causa da falta de conhecimento ou informações precisas sobre a energia, os custos e benefícios associados aos projetos energeticamente eficientes ficam imprecisos, criando uma barreira que compromete a estratégia da organização na obtenção de novas tecnologias.

3. Apoio Multicritério à Decisão

Um problema de decisão multicritério de acordo com Almeida (2013) consiste em uma situação onde há pelo menos duas alternativas de ação a serem escolhidas e a escolha deve ser conduzida pelo desejo de atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si. Esses objetivos estão associados às consequências da escolha das alternativas escolhidas e são representados por variáveis associadas que representam e permitem a avaliação de cada alternativa com base em cada um deles, essas variáveis são chamadas de critérios ou atributos. Quando consideram-se diferentes escolhas, torna-se a tomada de decisão em um problema multicritério.

O principal objetivo da análise de decisão multicritério é auxiliar os tomadores de decisão a se sentirem confortáveis e confiantes por meio de sua satisfação com os critérios abordados. Por meio de três conjuntos, o conjunto das alternativas, o conjunto das consequências e o conjunto dos critérios (atendendo as propriedades de exaustividade e não redundância), pode-se formular um problema de decisão multicritério. Esses critérios podem ser entendidos como um meio de julgamento, assim no contexto da tomada de decisão, isso insinua um padrão pelo qual uma escolha particular pode ser julgada mais desejável que outras (BELTON; STEWART, 2002).

De acordo Roy (1985) e Vincke (1992), dentre os métodos e abordagens multicritério destacam-se: os modelos aditivos, que geram um critério único de síntese (*Analytic Hierarchy Process – AHP; Multiple Attribute Utility Theory – MAUT*), os métodos de sobreclassificação ou *outranking methods* (ELECTRE e PROMETHEE) e a abordagem de julgamento interativo.

Dentre a família de métodos de sobreclassificação, destaca-se a família ELECTRE (*Elimination Et Choice Traidusaint la REalite*), composta pelos métodos: ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS, ELECTRE TRI e outras variações. Segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), a escolha de um desses métodos é justificada por argumentos determinados pela natureza do problema a analisar.

3.1. Método ELECTRE TRI

De acordo com Mota & Almeida (2003), o método ELECTRE TRI busca resolver problemas de classificação ordenada. Ou seja, dado um conjunto de alternativas $A=[A_1, A_2, \dots, A_n]$, o método associa-as a um conjunto de k -classes ordenadas $C=[C_1, C_2, \dots, C_k]$ que mantem uma relação de preferência entre si. A ordem de preferência das classes é crescente, sendo C_1 a pior e C_k a melhor. Cada classe deve ser caracterizada de forma pessimista e otimista. Conforme Szajubok *et al* (2006), essa classificação ocorre por meio de uma comparação das alternativas com uma referência estável, isto é um padrão ou alternativa de referência denominada b_h . Para isso, é necessário identificar o nível de conhecimento do decisor para cada critério a fim de obter os perfis $g_j(b_h)$ das classes ou categorias. O ELECTRE TRI

realizará a alocação das alternativas por meio de dois processos, o pessimista e o otimista. A diferença dessa alocação está na sequência de comparação das alternativas com as categorias e o nível de exigência que eles representam.

A classificação das alternativas conforme Costa *et al* (2007) é construída através de uma relação de subordinação S, que caracteriza como as alternativas são comparadas aos limites das classes; e da exploração da relação S. Essa relação é construída para viabilizar a comparação de uma alternativa genérica a pertencente ao conjunto A, com um limite padrão b_h pertencente a B. As condições de concordância e discordância devem ser validades para assumir a afirmação aSb_h (a alternativa a sobreclassifica o limite b_h). Combinando estes dois conceitos em uma única variável, Credibilidade ($\sigma(a, b_h)$), utilizada para validar a afirmação aSb_h , esse índice representa o grau que com que se pode confiar em uma relação de subordinação, ele valida o grau de credibilidade da afirmação aSb_h .

Segundo Yu (1992) e Roy (1985), para estabelecer a relação de sobreclassificação, alguns pontos devem ser observados: se a família de critérios é uma família de pseudocritérios; se a tabela de desempenho das alternativas foi construída; se para cada alternativa de referência b_h , os limites de preferência p , limites de indiferença q e de veto v para cada critério são conhecidos; se os pesos dos critérios são definidos como w para cada alternativa de referência b_h em que $b_{wi} > 0$, para todo e qualquer i ; se para o procedimento de alocação foi definido um valor entre 0,5 e 1, denominado nível de corte (λ), ou seja, o menor valor do grau de credibilidade (σ) para o qual se pode afirmar que a supera b , assim se $\sigma(a,b) = \lambda$, então aSb .

Observado isso, para avaliar as relações de sobreclassificação, os índices de Índice de concordância parcial $c_j(a, b_h)$ e $c_j(b_h, a)$, índice de concordância global $c(a, b_h)$ e $c(b_h, a)$, índice de discordância $d_j(a, b_h)$ e $d_j(b_h, a)$ e índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$ da relação de subordinação devem ser estabelecidos, conforme equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente:

$$\begin{cases} \text{Se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \Rightarrow c_j(a, b_h) = 0 \\ \text{Se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \Rightarrow c_j(a, b_h) = 1 \\ \text{Caso contrário} \Rightarrow c_j(a, b_h) = \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} \end{cases} \quad (1)$$

$$c(a, b_h) = \frac{\sum_{j=1}^N k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j=1}^N k_j} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \text{Se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \Rightarrow d_j(a, b_h) = 0 \\ \text{Se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq v_j(b_h) \Rightarrow d_j(a, b_h) = 1 \\ \text{Caso contrário} \Rightarrow d_j(a, b_h) = \frac{g_j(b_h) + g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - q_j(b_h)} \end{cases} \quad (3)$$

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \frac{\prod_{j=1}^N [1 - d_j(a, b_h)]}{[1 - c(a, b_h)]}, \text{ onde } F = j \in F: d_j(a, b_h) > c(a, b_h) \quad (4)$$

A imprecisão presente nas informações, permite o uso do ELECTRE TRI para apoiar a tomada de decisão em situações que se deseja, avaliar os cursos de pós-graduação (Mota & Almeida, 2003), classificar estoques na construção civil (Szajubok *et al*, 2006), avaliar a satisfação de consumidores (Costa *et al*, 2007), entre outros.

4. Modelo de Classificação para a Substituição de Motores Industriais

Para Sola (2011), os sistemas industriais de energia são compostos por tecnologias que possuem diferentes níveis de desgastes, de eficiência energética e graus de impacto no processo produtivo. Conforme a Lei de Eficiência Energética, publicada pela portaria MME/MCT/MDIC nº 553 de 08 de dezembro de 2005, em que se estabelecem níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética para motores elétricos trifásicos de indução, que passou a ser obrigatória desde 12 de dezembro de 2009, implicando o atendimento

dos novos níveis de rendimentos estabelecidos para esses motores, torna-se necessário a priorização de substituição dessas tecnologias para atender essas especificações. Com isso, o modelo proposto aborda a problemática de classificação, em que busca priorizar os motores que necessitam de substituição imediata.

A nível operacional, diante algumas barreiras organizacionais nesses sistemas, como assimetria de informação, diversos pontos de vista devem ser considerados por meio de um consenso, neste caso, uma abordagem construtivista é indicada. É possível ainda que algumas ações sejam difíceis de serem comparadas, logo, um método de sobreclassificação é recomendável, pois as preferências não serão necessariamente transitivas, alguns pares de alternativas podem ser incomparáveis e os critérios são do tipo não compensatório, uma vez que a estrutura de preferências é caracterizada pelos interesses de vários setores.

O modelo apresentado na Figura 1, foi elaborado e aplicado em uma indústria química localizada na região sul do país, baseado nos princípios do comprometimento, multidisciplinaridade, ampla participação, intervenção pouco invasiva e acurácia.

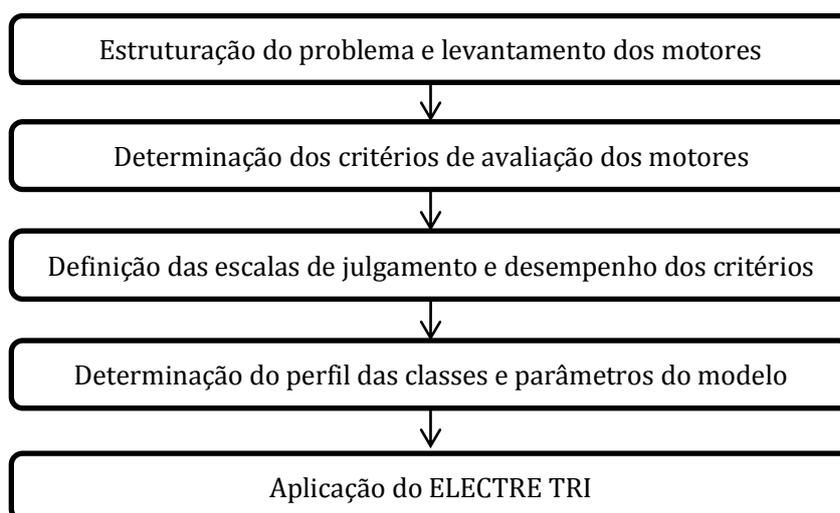


Figura 1 – Modelo para classificação de tecnologias.

Na indústria estudada, o contato ocorreu com o setor de planejamento e industrial da organização. Para conhecimento do problema, uma entrevista com o Diretor Industrial foi realizada, obtendo informações da indústria sobre o uso racional da energia, ações de eficiência energética e os motores sujeitos a substituição para adequação. Assim, o trabalho foi exposto aos demais setores, com o intuito de buscar o comprometimento deles, para que a definição dos parâmetros fosse realizada de forma consensual e a coleta de dados a mais fidedigna possível.

Para determinação destes critérios, por meio de uma reunião entre os setores de engenharia, manutenção, produção e financeiro, de forma consensual se optou por critérios de maior relevância no contexto das barreiras relacionadas a eficiência energética, considerando. Sete critérios foram escolhidos: Potência, Importância para a produção, Número de rebobinamentos, Número de falhas, Valor Presente Líquido (VPL), Carregamento do motor e Anos em uso.

Assim, foi especificada uma escala capaz de captar a subjetividade inerente ao julgamento da importância dos critérios. Por exemplo, para o critério Potência, a eficiência real do motor em operação foi definida como a relação entre a potência de saída e a potência de entrada, determinada pela potência nominal do motor em *Horse-Power* (1HP=746 *Watts*), a potência real medida em *Watts* e o carregamento percentual estimado. Com isso, o desempenho dos motores sujeitos a substituição foram levantados mediante cada critério escolhido, conforme obtido por Sola (2011) na Tabela 1:

Tabela 1 – Desempenho dos critérios

Alternativa	CR ₁ (HP)	CR ₂ (0- 10)	CR ₃ (qtd.)	CR ₄ (qtd./ano)	CR ₅ (R\$)	CR ₆ (%)	CR ₇ (anos)
a ₁	10	5	2	1	8872	22	5
a ₂	15	5	1	0,5	52440	79	5
a ₃	12,5	10	0	0	859	17	2
a ₄	12,5	10	0	0	5039	20	2
a ₅	50	10	0	0	78104	84	2
a ₆	7,5	10	5	1	18017	35	40
a ₇	20	5	0	0	60574	83	5
a ₈	7,5	8	0	0	7328	98	4
a ₉	5	7	1	0,5	2252	20	7
a ₁₀	7,5	9	1	0,5	10342	24	10
a ₁₁	12,5	10	0	0	3243	30	1
a ₁₂	10	10	0	0	1120	17	1
a ₁₃	30	10	0	0	34975	50	1
a ₁₄	40	10	2	1	122638	104	4
a ₁₅	10	8	2	1	15981	32	7
a ₁₆	7,5	5	2	1	12777	72	1
a ₁₇	7,5	9	0	0	5247	69	10
a ₁₈	7,5	8	0	0	5685	76	7
a ₁₉	10	7	0	0	4323	21	8
a ₂₀	5	7	1	1	11312	42	7

Com esses dados, o próximo passo foi a obtenção dos pesos, os limites de preferência (p), de indiferença (q) e de veto (v) para cada critério. Para a obtenção dos pesos, a equipe utilizou uma escala representativa do nível de importância que cada critério possuía, por exemplo, o critério Potência é o mais importante para a produção, uma vez que os motores maiores estão em processos estratégicos, sendo atribuído a ele o peso 100. Os limites de preferência e indiferença foram elicitados e para o limite de veto, foi preferível atribuir o valor zero, considerando-o um processo externo ao ELECTRE TRI, conforme exposto na Tabela 2:

Tabela 2 – Parâmetros dos motores da indústria estudada

Critério	Grau de Import. (peso)	Limiar de pref. (p)	Limiar de indif. (q)	Min. ou Max.
CR ₁ –Potência	100	45	0	Max
CR ₂ –Importância para a Produção	80	5	1	Max
CR ₃ –Número de Rebobinamentos	60	5	0	Max
CR ₄ –Número de Falhas	40	1	0	Max
CR ₅ –Valor Presente Líquido (VPL)	50	-	-	Max
CR ₆ –Carregamento do Motor	40	75	5	Min
CR ₇ –Anos em Uso	20	10	1	Max

Por fim, antes da aplicação do ELECTRE TRI, foram determinados as classes de equivalência e as fronteiras que limitem as classes, a melhor classe não possui limite superior e a pior classe não possui limite inferior. Para isso, foram definidas 3 classes: substituição imediata, próxima substituição mediante avaliação e passível a aguardar recurso para substituição. Com isso definido, os limites (perfis) foram definidos pelo analista, por meio da regra da heurística proposta por Mousseau & Slowinski (1999), conforme Tabela 3:

Tabela 3 – Perfis iniciais para os limites das categorias

Critério	CR ₁	CR ₂	CR ₃	CR ₄	CR ₅	CR ₆	CR ₇
b1	10	4	0,5	1	35.000	70	3
b2	20	6	1	1,5	60.000	50	6

4.1. Aplicação e Resultados do modelo

O índice de credibilidade, definido pelo nível de corte (λ) é inserido ao modelo para obter as relações de sobreclassificação. Se utilizado um valor elevado de λ para minimizar as imprecisões, ocorre no aumento da incomparabilidade, pois poucos valores de superariam os índices de credibilidade. Porém, caso o valor de λ seja reduzido, ou seja, ser menos exigente as imprecisões, aumenta-se as ocorrências de indiferença. Foi considerada uma credibilidade mínima (λ) da classificação de 0,76. Com isso, foram calculados os índices de concordância parcial, concordância global, discordância e de credibilidade da relação de subordinação, exigidos pelo ELECTRE TRI

Considerando o resultado da classificação multicritério apresentado na Figura 2, a_1, a_5, a_7, a_{14} e a_{15} foram considerados os melhores motores para substituição, tendo sido classificados na classe A (substituição imediata) em ambos os procedimentos, pessimista (mais exigente) e otimista (menos exigente).

Dado a elevada preocupação em alcançar a eficiência energética, sem correr riscos de falhas, mediante o alto custo envolvido com a substituição e parada da produção, o procedimento adotado foi o pessimista, por atribuir a alternativa para uma categoria mais elevada e ser um procedimento mais rigoroso nas informações.

Com isso, observa-se que 75% dos motores analisados são passíveis de aguardar recurso para substituição, sendo atribuídos as classes B e C, essa classificação indica que esses motores podem ser irrelevantes do ponto de vista de priorização para substituição imediata, porém requerem um planejamento em longo prazo para a troca ser realizada.

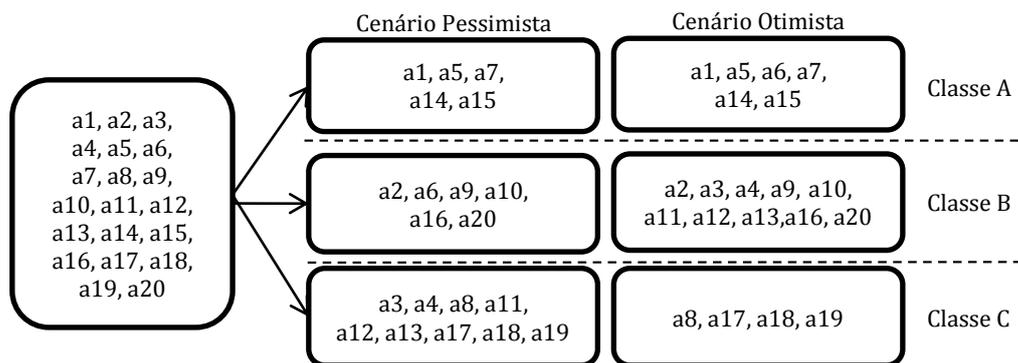


Figura 2 – Ilustração da classificação pelo ELECTRE TRI

4.2. Discussão dos Resultados

Observa-se uma diferença entre a classificação pessimista e otimista, o que ilustra a presença da incomparabilidade. Esta incomparabilidade está associada à incoerência do sistema classificatório ao comparar os diferentes motores às classes de equivalência.

A relação de incomparabilidade (R) foi identificada para as alternativas $a_3, a_4, a_6, a_{11}, a_{12}$ e a_{13} . Essa divergência entre os cenários existe somente quando o desempenho de uma alternativa é incomparável com um ou vários padrões. No entanto, os desempenhos discrepantes de uma alternativa nos diferentes critérios, podem contribuir também para a existência da incomparabilidade.

O fato da maioria das alternativas estarem concentradas nas categorias B e C, esse sistema de classificação pode passar por uma reavaliação caso seja estritamente necessário. Para isso, devem-se observar as fontes de incomparabilidade: modelo construído, escala de julgamento, preferências do Decisor no momento da avaliação das alternativas em relação aos critérios. Acrescenta-se também, que a consistência presente na classe inferior (b_1) ocorre porque os motores alocados nessas categorias possuem critérios com menor desempenho, mas com pesos mais elevados.

Para testar a estabilidade do método, inicialmente foi realizado uma análise de sensibilidade a nível da credibilidade. Atribuído o índice de credibilidade $\lambda=0,76$ para o modelo, esse nível foi alterado para 0,75; 0,77 e 0,78, a fim de verificar o comportamento do modelo. Como pode ser observado na Tabela 4, a mudança não gerou alterações significativas no resultado. Quando o nível aumentou, houve uma redução de 2 motores a serem substituídos imediatamente (classe A), permanecendo as alternativas a_5 , a_7 e a_{14} .

Tabela 4 – Análise do índice de credibilidade

Classe	Índice de Credibilidade (λ)			
	0,75	0,76	0,77	0,78
A	5	5	3	3
B	9	6	8	8
C	6	9	9	9

Em seguida foi executado uma avaliação para os pesos dos critérios. Para a situação 1, houve uma redução em 20% no critério de maior peso CR_1 (Potência), enquanto a situação 2 trabalha com uma redução de 20% no critério de segunda maior peso, CR_2 (Importância para a Produção), a situação 3, reduz em 20% o peso do terceiro critério de maior importância, referente ao Número de Rebobinamentos. Nessa análise o método também se mostrou estável, não foram verificados grandes alterações, apenas dois motores tiveram suas classes trocadas, a_1 e a_{15} , passaram da classe A para a classe B, o que garante a estabilidade do modelo proposto, conforme pode ser visto na tabela 5:

Tabela 5 – Distribuição das classes após a análise: pesos dos critérios

Classe	Situações		
	1	2	3
A	5	3	3
B	6	8	8
C	9	9	9

5. Considerações Finais

Com a necessidade de adequação a Lei de Eficiência Energética, o processo de substituição dos motores elétricos nas indústrias, promove uma maior competitividade no mercado, por reduzir o custo da energia em seus processos, com a inserção de tecnologias eficientemente energéticas. Além disso, diante os critérios envolvidos para a priorização da substituição, as organizações passam a perceber a necessidade de uma análise mais robusta mediante suas informações imprecisas, que podem ser mensurados de forma objetiva ou subjetiva. Portanto o uso sistemático do apoio à decisão multicritério é necessário para a resolução desse problema.

Diante isso, um modelo de classificação para substituição dos motores industriais foi proposto quanto a qual motor priorizar. Este modelo tem como principais vantagens: fornecer um procedimento estruturado para abordar as preferências dos decisores mediante informações imprecisas e; classificar as alternativas em classes de priorização, permitindo observar aquelas que necessitam de uma substituição imediata ou passível de aguardar recurso para uma substituição futura.

Com a estruturação do problema, diante adequação aos objetivos do problema, o ELECTRE TRI foi selecionado, fornecendo apoio a tomada de decisão. Embora aplicado em um indústria do setor químico, o modelo proposto não se restringe a esse setor, podendo ser aplicado nos demais setores, para fornecer um melhor gerenciamento dos recursos energéticos mediante a imprecisão das informações, a fim de atingir os objetivos estratégicos da organização.

Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização da lógica *fuzzy* na obtenção do desempenho dos critérios, buscando amenizar a imprecisão das informações; comparar os resultados e robustez desse novo modelo em relação ao deste trabalho; aplicar esse novo modelo em outros setores da indústria e; experimentar outros métodos multicritério, a fim de estabelecer uma intercomparação que investigue os possíveis resultados diferentes.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio fornecido para o desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- Almeida, A. T.** (2013), Processo de decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão multicritério. Recife, Editora Atlas S.A..
- Belton, V. e Stewart, T.J.** (2002), Multiple Criteria Decision analysis. Kluwer. Ac. Publishers.
- Gomes, L.F.A.M., Araya. M.C. G. e Carignano, C.** (2004), Tomada de decisões em cenários complexos. São Paulo: Thompson Learning.
- Costa, H.G; Mansur, A.F.U e Freitas A.L.P.** (2007), ELECTRE TRI aplicado a avaliação da satisfação de consumidores, Produção, v.17, n.2, p.230-245, Maio/Agosto.
- DeCanio, S.J.** (1998), The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments. Energy Policy, 26.
- Jackson, J.** (2010), Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools. Energy Policy, 38.
- MME – Ministério das Minas e Energia.** (2005), Balanço de Energia Útil. Brasília.
- Mota C.M.M. e Almeida A.T.** (2003), Avaliação de pós-graduação com método ELECTRE TRI – o caso de Engenharias III da CAPES. Revista Produção, v.13, n.3.
- Mousseau, V.; Slowinski, R. e Zielniewicz, P.** (1999), Electre Tri 2.0a. Methodological Guide and Users Manual. Document Du Lamsade. France: Université Paris Dauphine.
- Sola, A.V.H.** (2011), Modelo de decisão multicritério para substituição de tecnologias em sistemas industriais aplicado ao uso eficiente da energia. Recife.
- Sola, A.V.H; Mota, C.M.M. e Kowaleski, J.L.** (2011), A model for improving energy efficiency in industrial motor system using multicriteria analysis. Energy Conversion and Management, Energy Policy, 39.
- Sola, A.V.H e Mota, C.M.M.** (2012), A multi-attribute decision model for portfolio selection aiming to replace technologies in industrial motor systems. Energy Conversion and Management, 57.
- Stern P.C. e Aronson E.** (1984), Energy use: the human dimension. New York: W.H. Freeman.
- Szajubok, N. K., Alencar, L. H. e Almeida, A.T.** (2006), Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério. Revista Produção, Vol.16, n.2.
- Roy, B.** (1985), Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Economica.
- Vincke, P.** (1992), Multicriteria decision-aid. Bruxelles, João Wiley & Sons.
- Yu, W.** (1992), ELECTRE TRI Aspects Methodologiques et Guide d'Utilisation. Document Du Lamsade. France: Université Paris Dauphine.