

Estudo de modelos decisórios para escolha de alternativas de usinas geradoras de energia elétrica: utilização dos métodos multicritério

TOPSIS, ELECTRE e AHP

Rodrigo Flora Calili¹, Helder Gomes Costa²,

Oswaldo Luiz Gonçalves Quelhas², Reinaldo Castro Souza¹

¹ Dpto. de Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900. rcalili@ele.puc-rio.br, reinaldo@ele.puc-rio.br.

² Dpto. de Engenharia de Produção. Universidade Federal Fluminense (UFF). Campus da Praia Vermelha, Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, RJ - Brasil - 24210-240. hgc@vm.uff.br, quelhas@latec.uff.br.

Resumo

Este trabalho tem por objetivo verificar dentro de algumas opções de usinas geradoras de energia, aquela que é mais viável do ponto de vista ambiental e econômico. Para tanto, foram utilizadas algumas ferramentas de auxílio multicritério para tomada de decisão: AHP, ELECTRE e TOPSIS. Foi realizada uma revisão da literatura destes métodos, bem como das opções de plantas geradoras existentes no Brasil. Como resultado, ficou evidente pelas três ferramentas utilizadas que as Pequenas Centrais Hidrelétricas são as mais vantajosas segundo os critérios adotados. Em contraponto, as Usinas Térmicas à Carvão Mineral foram postas como a pior opção de geração.

Palavras-chave: AHP. TOPSIS. ELECTRE. Geração de energia.

1. Introdução

O processo de tomada de decisão se tornou um dos grandes desafios no mundo corporativo atual, uma vez que os recursos se tornam cada vez menos abundantes, a competitividade de um mundo globalizado aumenta a cada dia e, além disso, o apelo da sociedade quanto a preservação dos recursos naturais se torna cada vez mais forte. Desta forma, ferramentas que auxiliem o decisor em suas decisões estão a cada dia mais presentes no ambiente das empresas e são, cada vez mais, objeto de estudo de pesquisadores.

Assim, a avaliação de desempenho global das alternativas de decisão não pode mais ser baseada em um único eixo-dimensional da avaliação, como custo ou benefício. Na maioria dos casos, múltiplos, incomensuráveis e muitas vezes conflitantes eixos de avaliação de natureza distinta estão inerentemente em jogo. Por isso, aspectos econômicos, técnicos, sociais e ambientais devem ser expressamente levados em conta nos modelos de apoio à decisão, ao invés de agregados em um único, e geralmente econômico, indicador (Reinhard, 2009).

Do ponto de vista do mercado de energia, devido ao grande apelo da sociedade, governo e organizações não governamentais de que as emissões de gases de efeito estufa sejam reduzidas e que o meio ambiente seja preservado, garantindo, assim, que gerações futuras possam ter um mundo ainda habitável, as fontes de energia renovável estão cada vez mais sendo utilizadas e estudadas por muitos pesquisadores. Deve-se acrescentar que, algumas destas fontes de energia ainda não são viáveis economicamente e carecem muitas vezes de subsídios governamentais. Desta forma, cria-se um paradoxo, entre o que é economicamente viável e o que é benéfico ao meio ambiente. É neste contexto de incerteza de qual seria a melhor alternativa de geração que este trabalho se insere.

Tem-se, portanto, o propósito de avaliar as melhores alternativas de geração de energia elétrica pelos três métodos de auxílio multicritério à decisão descritos a seguir: **AHP** (Analytic Hierarchic Process); **ELECTRE** (Elimination et Choix Traduisant la Réalité); e **TOPSIS** (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

2. Situação Problema

Nos atuais contextos econômico, social e ambiental do mundo globalizado, é de fundamental importância a utilização de fontes renováveis na matriz energética dos países, devido aos grandes impactos socioambientais causados pelas fontes de energia ditas “suja”, que utilizam em sua produção combustíveis fósseis. O problema identificado neste estudo é o de estruturação de modelo para permitir o processo decisório da melhor alternativa de geração de energia levando em consideração os aspectos econômicos e ambientais, superando o estágio de empirismo atualmente praticado.

3. Objetivo

O trabalho em questão tem como objetivo tentar definir qual a melhor alternativa de unidade geradora de energia do ponto de vista econômico e socioambiental, através dos modelos de análise multicritério elencados (AHP, ELECTRE e TOPSIS) para tomada de decisão de investimento.

4. Estratégia de Pesquisa

O método de pesquisa aplicado neste estudo é exploratória e propositiva, com utilização de pesquisa bibliográfica, e consolidação dos dados para se definir alternativas de geradoras de energia elétrica utilizando análise multicritério.

5. Revisão da Literatura

5.1. Análise Multicritério

A análise multicritério é uma ferramenta bastante disseminada nos dias de hoje para resolução problemas de escolha de alternativas à luz de determinados critérios definidos pelo decisor. Todavia, não se sabe e não se pode afirmar qual é o melhor método e o quanto a opinião do tomador de decisão na escolha dos pesos pode influenciar ou enviesar o resultado final.

Apesar do exposto anteriormente, citando Rogers et al (2000) , pode-se dizer que ferramentas de auxílio a decisão podem ser vistas em termos da operação de um analista, o qual, através de sua expertise no uso de modelos explícitos, mas não necessariamente rigorosos, assessorar o decisor em responder questões as quais deixam mais claras a decisões a serem tomadas. Além disso, estas ferramentas podem ajudar o decisor na recomendação da mais coerente e consistente solução. Desta forma, pode-se chegar a inferir que quando se utilizam várias ferramentas de auxílio multicritério na tomada de determinada decisão, é como se tivessem vários analistas dando sua opinião de qual a melhor alternativa. Nem sempre estes *experts* terão as mesmas opiniões e escolherão as mesmas alternativas.

Este trabalho trata de uma apreciação investigativa de três métodos de auxílio multicritério à decisão. Vale colocar que, os métodos utilizados não terão seus algoritmos descritos, ficando a cargo do leitor um estudo destes para que se tenha um melhor entendimento da pesquisa realizada.

As três ferramentas de análise multicritério utilizadas neste trabalho, bem como algumas de suas principais características, serão descritas nos tópicos seguintes.

5.1.1. ELECTRE - Elimination et Choix Traduisant la Realité

Em julho de 1996, Bernard Roy, apresentou em Roma um artigo no qual ele usou seus conhecimentos matemáticos para desenvolver um sistema de tomada de decisão, conhecido hoje como ELECTRE.

Em processos de decisão, as escolhas derivam da complexa comparação hierárquica entre as opções de alternativas, as quais são frequentemente baseadas em critérios conflituosos. Um número de variáveis externas impõe regras relevantes que orientam o decisor (Beccali et al, 2003).

Este método envolve uma análise sistemática da relação entre todos os possíveis pares de diferentes opções. O resultado é medido pelo grau de qual opção é preferível quando comparada às demais. Esta metodologia implica na construção de relações de preferência, a geração dos índices de concordância e de discordância, e analisa os resultados obtidos de uma avaliação global de todas as relações de preferências derivadas (Roy, 1985 e 1993).

Segundo Rogers et al (2000), existem 6 versões principais do ELECTRE – I, II, III, IV, Tri e IS. A versão do método ELECTRE empregado depende dos tipos de critérios envolvidos. Para o estudo em questão será utilizado o ELECTRE II, que dá uma ordem completa das opções não dominadas, gerando assim uma ordem parcial dos conjuntos não dominados.

Quanto aos pesos que cada critério terá, estes são escolhidos diretamente por consenso pelos tomadores de decisão (especialistas). Ou seja, não existe para este método uma ferramenta matemática que gere os pesos de cada um dos critérios, como ocorrerão para os modelos que se seguem.

5.1.2. AHP - Analytic Hierarchic Process

O método AHP foi criado por Saaty nos anos 70, sendo considerado um dos métodos de auxílio multicritério à decisão mais utilizados hoje em dia (Costa, 2006).

Como citado por Saaty (1980), o Método de Análise Hierárquica (AHP) objetiva a seleção ou escolha de alternativas, em um processo que leva em consideração diferentes critérios de avaliação. Sendo este baseado em três princípios de pensamento analítico:

Construção de hierarquias: tem objetivo de fazer com que o problema seja melhor compreendido e avaliado. No início desta etapa identificam-se os elementos-chave para a tomada de decisão, agrupando-os em conjuntos afins, os quais são alocados em camadas específicas.

Definição de prioridades: fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objetivos e situações observadas, comparando pares a luz de um determinado critério.

Consciência lógica: o AHP pode avaliar o modelo de priorização construído quanto à sua consistência. Isto é muito importante, pois desta forma, informações discrepantes podem ser reavaliadas.

Um dos aspectos importantes no AHP é que toda a definição dos pesos de um determinado critério é feita indiretamente através de uma escala de julgamento de valores a serem dados pelo especialista. Ademais, de acordo com Zhu (1996 e 2009) o método AHP é especialmente apropriado para problemas que envolvam tanto análises quantitativas quanto qualitativas.

Finalmente, conforme Saaty & Vargas (2005), no AHP os resultados são apresentados de sob forma de prioridades. Assim, é possível avaliar o quanto uma alternativa é superior a outra de um ponto de vista global.

5.1.1. TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

A técnica TOPSIS é um método clássico para resolver problemas de multicritério, desenvolvido primeiramente por Hwang e Yoon (1981), posteriormente, discutido por muitos (Chu, 2002; Olson, 2004; Peng, 2000). Esta ferramenta baseada no conceito que a melhor alternativa é aquela que tem a menor distância da Solução Ideal Positiva (PIS – Positive Ideal Solution) e a maior distância da Solução Ideal Negativa (NIS – Negative Ideal Solution). Sendo que a PIS tem as melhores medidas para todos os atributos, enquanto a NIS tem as piores medidas para todos os atributos.

O método TOPSIS estabelece um mecanismo que é atrativo em data mining, pois pode considerar um número de atributos sistematicamente sem muita subjetividade humana (Olson & Wu, 2005). Uma outra vantagem da metodologia TOPSIS é que pode-se considerar numa mesma base de dados, critérios que geram benefícios (quanto maior, melhor) e critérios que geram custos (Olson & Wu, 2006).

Um problema que pode ocorrer neste método, como também em alguns outros métodos de análise hierárquica, é a inversão de ordem das alternativas. Para solucionar este problema é proposto o modified TOPSIS ou M-TOPSIS (Ren et al, 2007).

Para o cálculo dos pesos a ferramenta para análise multicritério TOPSIS verifica o arranjo dos dados através do grau de entropia (Shannon, 1947). A entropia descreve a quantidade de informação da matriz de decisão (alternativas versus critérios).

5.2. Geração de energia elétrica

As ferramentas de análise multicritério descritas na seção 5.1 serão aplicadas em uma base de dados com as alternativas de geração descritas no livro “Geração de Energia Elétrica no Brasil” de Mauricio Tiomno Tolmasquim. Neste constam as definições, principais características e os estudos de viabilidade econômica de 7 tipos de unidades de geradoras, as mais difundidas no Brasil, que serão descritas nos tópicos a seguir. Vale colocar que, como as Usinas Nucleares são pouco difundidas no Brasil, devido ao grande custo de investimento, necessitando assim de recursos governamentais para sua implantação, não serão abordadas neste estudo.

5.2.1 Usina Hidrelétrica

A energia hidrelétrica produzida à partir do aproveitamento potencial hidráulico de um curso d’água, combinando a utilização da vazão do rio, quantidade de água disponível em um determinado período de tempo, com os seus desníveis, sejam os naturalmente formados, ou como quedas d’água, sejam os criados com a construção de barragens.

As usinas hidrelétricas podem iniciar sua geração ou alterar seu nível de produção muito rapidamente, ao contrário da geração termelétrica convencional, em especial a que utiliza o carvão. Desta forma, as hidrelétricas são qualificadas como alternativa adequada para atender ao aumento repentino da demanda de energia pelos consumidores (Tolmasquim, 2005).

Outra vantagem da usina hidrelétrica é que esta necessita de uma equipe pequena para sua operação e manutenção, além de apresentar baixo custo de produção, pois independe do preço de combustível. Por outro lado, estas usinas requerem um elevado investimento inicial.

Vale ressaltar que por um lado, se, a usina hidrelétrica produz pouca poluição, por outro, pode provocar grandes impactos ambientais, quando de sua implantação.

5.2.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)

A PCH é uma usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja inferior a 30 MW. Normalmente esta opera a fio d’água, ou seja, o reservatório não permite a regularização

do fluxo d'água. Assim, em ocasiões de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. Quando as vazões são maiores que a capacidade de engolimento das máquinas, permitindo a passagem da água pelo vertedor.

O custo da energia elétrica produzida pelas PCH's é maior que o de uma usina hidrelétrica de grande porte, onde o reservatório pode ser operado de forma a diminuir a ociosidade ou os desperdícios de água. Entretanto, são instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada.

5.2.3 Termelétrica à Gás Natural

O processo de funcionamento das centrais termelétricas é baseado na conversão de energia térmica em energia mecânica, e desta em energia elétrica. O processo é iniciado com o aquecimento de um fluido que assim se expande realizando trabalho juntamente as turbinas térmicas. Em seguida, ocorre o acionamento de um gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina, obtendo-se assim energia elétrica (Tolmasquin, 2005).

As usinas térmicas a gás são aquelas que se utilizam da combustão interna, ou seja, mistura de ar e combustível, para gerar energia. Para isso se utilizam de turbinas a gás que atingem uma eficiência termodinâmica mais elevada que a turbina a vapor.

Um fator complicador para a sua utilização, segundo Tolmasquin (2005), é número reduzido de fabricantes dessas turbinas e o fato de nenhum deles ser brasileiro. Assim, a implantação destas usinas se torna bem mais dispendiosa por conta das taxas de importação.

As centrais elétricas a gás apresentam uma série de vantagens: baixo custo de investimento por potência instalada, prazos curtos de entrega de equipamentos, construção rápida, operação com elevada segurança e disponibilidade, razoável versatilidade quanto ao combustível e flexibilidade operacional no acompanhamento da carga. Além disso, por serem leves e compactas, entram em operação segundos após o seu acionamento e em minutos chega à capacidade máxima. Portanto, essa usina é ideal para se trabalhar no horário de ponta.

5.2.4. Termelétrica à Biomassa

A biomassa é utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico produzido e acumulado em um ecossistema, porém nem toda a produção primária passa a incrementar a biomassa vegetal do ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria manutenção. Suas vantagens são o baixo custo, é renovável, permite o reaproveitamento de resíduos e é menos poluente que outras formas de energias como aquela obtida a partir de combustíveis fósseis.

A queima de biomassa provoca a liberação de CO₂ dióxido de carbono na atmosfera, mas como este composto havia sido previamente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o balanço de emissões de CO₂ é nulo. Dentre as rotas tecnológicas para geração elétrica, a recuperação do biogás dos aterros é a mais mitigadora de emissão de gases do efeito estufa.

Outra opção da "bioeletricidade é o aproveitamento de resíduos vegetais e animais, tais como restos de colheita, esterco animal (especialmente na avicultura, suinocultura e bovinocultura em regime intensivo) e efluentes agroindustriais (destaque para a vinhaça oriunda de unidades produtoras de álcool).

O aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar como combustível é competitivo quando comprado com as demais opções térmicas do sistema. No caso dos segmentos madeireiro e arrozeiro, embora o potencial identificado seja de pequena importância do ponto de vista

nacional, é preciso ter clareza que o mesmo é de grande relevância nas regiões nas quais os mesmos existem.

5.2.5 Termelétrica à Carvão Mineral

O carvão mineral pode ser definido como uma substância rica em carbono, contendo ainda, menores quantidades de oxigênio, enxofre e nitrogênio. É a segunda fonte de energia primária mais utilizada no mundo, logo depois do petróleo. Segundo, Flues et al (2003), o carvão brasileiro apresenta alto teor de cinzas e 7% de pirita. A viabilidade da sua aplicação em termelétricas somente é possível se a usina for construída nas proximidades das minas de carvão, reduzindo custo de transporte.

Em termos gerais a combustão do carvão implica na emissão de fuligem, óxidos sulfurados, metais tóxicos e componentes orgânicos carcinogênicos (podem causar câncer e mudanças genéticas), necessitando-se, portanto, de métodos de controle ambiental para sua utilização.

Assim, termelétricas de carvão mineral, apesar de terem o preço baixo do combustível por MWh, são extremamente poluidoras, lançando na atmosfera gases bastante danosas a esta, como o SO₂ e NO_x (NO e NO₂).

5.2.6. Usina Eólica

No século 20, os pequenos moinhos de vento foram utilizados para bombeamento de água e geração de energia elétrica. Com o primeiro choque do petróleo, ocorrido nos anos 70, a geração de energia elétrica via sistemas eólicos se tornou, em algumas situações, economicamente viável e estratégica para muitas nações. Muitos institutos de pesquisa concentraram esforços no desenvolvimento de sistemas eficientes, de baixo custo e larga faixa de operação (Tolmasquin, 2005).

De acordo com Sales (2004), no caso de geração de energia eólica, de maneira geral, podem ser citados como vantagens o reduzido impacto social e ambiental, que estes causam, seja ele físico, biótico, antrópico, social, ou relativo à emissão de GEEs; diversificação da matriz energética; a geração de empregos, principalmente em áreas rurais; possibilidade de plantação e criação de animais entre as turbinas; entre outros fatores. Como impactos negativos podem ser considerados a ameaça aos pássaros, interferência eletromagnética, desconforto nos olhos, sombras, impacto visual e sonoro, entre outros.

Atualmente, mesmo com o preço do petróleo em patamar estável e significativamente inferior ao verificado no período dos dois choques, o uso desta fonte de energia renovável, virtualmente inexaurível, tem grande importância por se tratar uma geração livre de emissões e de custos de implantação progressivamente baixos.

6. Estudo de caso

Como já afirmado anteriormente, as ferramentas de análise multicritério descritas anteriormente, serão aplicadas em uma base de dados com as alternativas de geração descritas no livro “Geração de Energia Elétrica no Brasil” de Mauricio Tiomno Tolmasquin (2005).

Uma vez que as Usinas Hidrelétrica e Nuclear são de grande porte e demandam um grande investimento por parte do investidor, estas não foram consideradas para a análise a que o este artigo se dispõe a fazer. Para mais detalhes da definição, das características e estudos de viabilidade econômica dos tipos de geração descritos previamente, o leitor deverá consultar a literatura sugerida anteriormente.

Assim, para o estudo em questão foram utilizadas as seguintes geradoras, segundo os critérios de viabilidade econômica elencados e que são apresentados na tabela 1 que se segue.

Tabela 1 – Alternativas e Critérios elencados

Critério	Alternativas de Geração de Energia				
	PCH	Termo à Gás Natural	Termo à Biomassa	Termo à Carvão	Usina Eólica
Investimento (US\$/kW)	880,00	600,00	719,00	816,00	1.157,00
O & M Variável (R\$/MWh)	7,00	2,50	0,00	1,50	0,00
O & M Fixo (R\$/kW)	0,00	65,00	83,76	90,00	46,00
Transmissão (R\$/MWh)	2,68	3,72	2,53	5,27	6,43
Combustível (R\$/MWh)	0,00	62,12	33,73	10,00	0,00
Incentivos em geral para investimento	Sim	Não	Sim	Não	Sim

No capítulo que se segue, a metodologia utilizada, bem como os resultados alcançados serão abordados.

7. Análise dos Resultados

Esta seção mostra os resultados alcançados na definição das melhores alternativas das ferramentas de análise multicritério adotadas.

Todos os três métodos abordados nesta pesquisa propõem uma hierarquização ou priorização das alternativas existentes em um determinado problema. No entanto, cada um destes métodos tem sua peculiaridade na formulação matemática, isto faz com as respostas de cada um deles sejam distintas, não apenas por terem adoção de pesos diferentes, mas também por propriedades intrínsecas a cada um dos modelos. O quadro 1, a seguir, mostra o resultado da priorização das três ferramentas utilizadas.

Quadro 1 – Priorização das alternativas

Ranking	TOPSIS	ELECTRE	AHP
1	Usina Eólica	Termo à Biomassa	PCH
2	PCH	PCH	Termo à Gás Natural
3	Termo à Biomassa	Usina Eólica	Termo à Biomassa
4	Termo à Carvão Mineral	Termo à Gás Natural	Usina Eólica
5	Termo à Gás Natural	Termo à Carvão Mineral	Termo à Carvão Mineral

Antes de qualquer análise, deve-se ressaltar que no método AHP, as alternativas Termoelétrica à Gás Natural e Termoelétrica à Biomassa, tiveram pesos praticamente iguais (diferença mínima), podendo ambos serem priorizados na segunda posição.

Pode-se notar pelo quadro anterior que em todos os três casos a alternativa Pequena Central Hidrelétrica (PCH) teve uma boa priorização ficando em 2º segundo lugar nos modelos TOPSIS e ELECTRE e em 1º no método AHP, sendo então um bom investimento. Um fato que levou esta alternativa a um dos primeiros lugares foi ter incentivos em geral para investimento, por ser um tipo de energia renovável e de baixo impacto ambiental.

Por outro lado, por ser de alto impacto ambiental, grande emissão CO² na atmosfera, a alternativa Termoelétrica à Carvão Mineral ficou em último lugar nos métodos AHP e ELECTRE e em 4º (penúltimo) lugar no método TOPSIS. Outro critério que fez com que esta fosse elencada como a pior alternativa: alto custo fixo de operação e manutenção.

Para as demais alternativas, fica um pouco difícil de tirar uma conclusão se a alternativa é boa ou não economicamente, pois estas estão em colocações boas ou ruins dependendo do modelo. Talvez, possa-se dizer que a Termoelétrica à Biomassa é uma boa alternativa, pois se encontra 1º lugar no ELECTRE, praticamente em 2º no AHP e em 3º lugar no método TOPSIS.

Desta forma, cada modelo tem uma ordenação distinta. Isto posto, a pergunta que surge neste momento, já que as prioridades de cada modelo são distintas, é: qual seria então o melhor método ou ferramenta de análise multicritério entre as três que este artigo se propôs a estudar?

Na verdade, não existe uma resposta a esta pergunta. Obviamente, cada autor diria que seu método é melhor. Todavia, o que pode ser dito e que foi mostrado nas assertivas anteriores é que se empregando as três metodologias como proposto neste trabalho se consegue chegar à conclusão acerca da melhor e da pior alternativa, respectivamente, PCH e Termo à Carvão Mineral. E, talvez, de uma segunda melhor alternativa de investimento, a Termoelétrica à Biomassa.

Conforme avaliado por Álvarez et al (2009), é recomendável integrar, dentro de uma mesma metodologia, diferentes técnicas de análise multicritério em função da tarefa principal a se desenvolver (ordenação de alternativas, revelação de preferências, entre outras). Assim, seguindo a recomendação destes autores a solução deste problema talvez tenha um resultado mais objetivo e direto.

8. Conclusão e Sugestão de Novas Pesquisas

Esta pesquisa mostrou que a utilização de ferramentas de análise multicritério devem ser empregadas em problemas de tomada de decisão, mesmo existindo a subjetividade nas escolhas dos critérios. No entanto, não se pode afirmar qual é a melhor ferramenta, pelo menos dentre as três a que este trabalho se propôs a utilizar: TOPSIS; AHP e ELECTRE.

Particularmente, para o problema estudado, a escolha da melhor alternativa de unidade geradora utilizando critérios econômicos e parcialmente ambientais (critério 6), chegou-se a conclusão que a melhor alternativa é a Pequena Central Hidrelétrica (PCH), por ter tido uma boa priorização nos três métodos propostos - TOPSIS (2º), ELECTRE (2º) e AHP (1º). E, ainda, pode-se concluir também que a pior alternativa, por ficar em última posição nos modelos ELECTRE e AHP e penúltimo lugar no método TOPSIS, foi a Termoelétrica à Carvão Mineral.

Ademais, notou-se que a subjetividade na escolha dos pesos dos critérios pelo especialista pode influenciar no resultado final.

Os autores deste trabalho apontam uma próxima pesquisa necessária, que é a continuação da investigação se existe uma melhor ferramenta de análise multicritério ou fazer uma agregação de várias ferramentas para se chegar a um melhor resultado. Ademais, sugere-se uma pesquisa para inferir como as opiniões e as escolhas dos especialistas podem influenciar na resposta final.

Referências

Álvarez, M.; Moreno, A.; Mataix, C.; Navazo, V. (2009). *Aplicación Del modelo AHP como apoyo por la toma de decisiones en proyectos de grandes infraestructuras con impacto social*. 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industria Management. Bracelona – Terrassa, p 17-18.

Beccali, M.; Cellura M.; Mistretta, M. (2003). *Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology*. Renewable Energy 28, p. 2063–2087.

Costa, H. G. (2006). *Auxílio multicritério à decisão: método AHP*. Rio de Janeiro: ABEPRO.

Chu, T.-C. (2002). *Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decisions*. International Journal of Uncertainty, Fuzziness & Knowledge-Based Systems, 10(6), 687–701.

- De La Fuente, D.; Pardo, M. J. (2008). *Optimal selection of the service rate for a finite input source fuzzy queuing system*. Fuzzy Sets and Systems. Volume 159, Issue 3, Pages 325-342.
- Flues, M.; Hama, P; Fornaro, A. (2003). Avaliação do nível da vulnerabilidade do solo devido á presença de termelétrica a carvão. Quim. Nova, Vol. 26, No. 4, 479-483.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. New York: Springer-Verlag.
- Reinhard Madlener, R.; Antunes, C. H.; Dias, L. C.(2009). *Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis*. European Journal of Operational Research 197, p. 1084–1094.
- Olson, D. L.; Wu, D. (2006). *A TOPSIS Data mining demonstration and application to credit scoring*. International Journal of Data Warehousing & Mining, 2(3), 1-10.
- Olson, D. L.; Wu, D. (2005). *Decision making with uncertainty and data mining*. In X. Li, S. Wang, & Z.Y. Dong (Eds.), Lecture notes in artificial intelligence (pp. 1–9). Berlin: Springer.
- Olson, D. L. (2004). *Comparison of weights in TOPSIS models*. Mathematical and Computer Modelling, 40, 721–727.
- Peng, Y. (2000). *Management decision analysis*. Peking: Science Publication.
- Ren, L.; Zhang, Y.; Wang, Y.; Sun, Z. (2007). *Comparative analysis of a novel M-TOPSIS method and TOPSIS*. Applied Mathematics Research Express, Vol. 2007, Article ID abm005, 10 pages.
- Rogers, M.; Bruen, M.; Maystre, L. (2000). *ELECTRE and decision support: methods and applications in engineering and infrastructure investment*. USA: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Paris: Economica.
- Roy, B.; BOUYSSOU, D (1993). *Aide multicritère à la décision: methodes et cas*. Paris: Economica.
- Saaty, T. L. (1977). *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of Mathematical Psychology. yuy15:234-281.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw Hill.
- Saaty, T. L.; Vargas, L. (2005). *The possibility of group welfare functions*. International Journal of Information Technology & Decision Making 2005;4:67–76 [Also in more mathematical version: *The possibility of group choice: pairwise comparisons and merging functions*. Working Paper, University of Pittsburgh. Pittsburgh, PA, 15260; 2005].
- Salles, A. C. N. (2004). Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica. Dissertação de Mestrado. Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- Shannon, C. E., Weaver, W. (1947). *The mathematical theory of communication*. Urbana: The University of Illinois Press.
- Tolmasquim, M. T. (2005). *Geração de Energia Elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Tolmasquim, M. T. (2004). *Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil*. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004.

Wu, D.; Olson, D. L. (2006). *A TOPSIS Data Mining Demonstration and Application to Credit Scoring*. International Journal of Data Warehousing & Mining, 2(3), 1-10.

Zhu, J.Z.; Irving, M.R. (1996). *Combined active and reactive dispatch with multiple objectives using analytic hierarchical process*. IEEE Proceedings Part C, Vol.143, p 344-352.

Zhu, J.Z.; Cheung, k. (2009). *Analysis of Regulating Wind Power for Power Systems*. Power & Energy Society General Meeting.