

PROPOSTA DE MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÕES E SUA APLICAÇÃO EM ANÁLISE DE VIABILIDADE DE USINAS HÍBRIDAS

JOSÉ ALEXANDRE FERRAZ DE ANDRADE SANTOS¹, EDNILDO ANDRADE TORRES²

¹Doutorando e Mestre em Eng. Industrial, pesquisador, UFBA, Salvador-BA, alex_caeel@yahoo.com.br

²Dr. em Eng. Mecânica, Prof. Titular na Escola Politécnica, UFBA, Salvador-BA, ednildo@ufba.br

Introdução

A tomada de decisão pode ser definida como a escolha de uma ou mais ações, dentre um conjunto de ações possíveis, para atingir objetivo(s) previamente definido(s). No setor de energia, decisões sobre a implantação de novos empreendimentos são complexas e multicritérios e os decisores (executivos, gerentes, engenheiros, analistas, etc.) priorizam projetos com maior rentabilidade, previsibilidade e segurança, ou seja, com maior capacidade de produção e menores riscos (socioeconômicos, ambientais, legais, etc.).

O **processo analítico hierárquico (Analytic Hierarchy Process – AHP)** é um dos mais consagrados dentre vários métodos decisórios multicritérios, mas ele avalia as influências de indicadores apenas de dois em dois por vez, necessitando posteriormente de uma análise de consistência. Por conta disto, este trabalho apresenta uma proposta de novo método multicritério simplificado para tomada de decisões que é capaz de elaborar **equações-modelo** para calcular **índices globais de viabilidade – Igv(%)**. Tal proposta foi inspirada parcialmente na lógica de raciocínio de diagramas para critérios e indicadores do AHP, mas é capaz de avaliar simultaneamente o conjunto completo dos indicadores escolhidos e sem a necessidade da realização de análises de consistência.

Este método foi denominado de **Processo de Equacionamento com Indicadores e Tabelas – PEIT** (ou **Equationing Process with Indicators and Tables – EPIT**) e escolheu-se aplicá-lo na implantação de usinas híbridas eólico-solares fotovoltaicas (FV) para geração centralizada (usinas com potência superior a 5 MW). Para tanto, adotou-se os dois exemplos pioneiros atualmente existentes de usinas híbridas eólico-solares no Brasil: um em **Tacaratu-PE** com 91 MW (80 MW eólicos e 11 MWp solares) e outro em **Caetitê/Igaporã-BA** com 26,4 MW (21,6 MW eólicos e 4,8 MWp solares).

Material e métodos

As etapas passo-a-passo do método PEIT estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1. Aplicação do novo método PEIT.

Etapas das Ações para Aplicação do Novo Método PEIT	
1 ^a	Definição, estudo e compreensão a respeito do problema a ser abordado e da respectiva tomada de decisão relativa a viabilidade global relacionada.
2 ^a	Definição de grupos de critérios (dimensões) e de critérios (indicadores) relevantes à tomada de decisão desejada, inclusive definindo quais são os critérios eliminatórios e os classificatórios .
3 ^a	Atribuição de coeficientes respectivos a cada um dos grupos de critérios e dos critérios. Obs.: Posteriormente os coeficientes receberão pesos atribuídos com valores inteiros entre 1 e 10.
4 ^a	Definição da função-objetivo para obtenção de um índice global de viabilidade – Igv(%) que atenda adequadamente às especificidades da tomada de decisão. Obs.: Atribui-se a cada indicador uma respectiva variável .
5 ^a	Definição de uma tabela auxiliar adequada para a montagem de uma equação-modelo , tendo como referência a função-objetivo e a Tabela 2.
6 ^a	Definição de faixas percentuais de viabilidade global coerentes e adequadas à tomada de decisão desejada para o futuro enquadramento, classificação e ranqueamento/hierarquização dos Igv(%) calculados.
7 ^a	Atribuição de valores aos coeficientes para representar seus pesos de importância , onde a atribuição dos pesos pode ser feita pelo próprio tomador de decisão ou através de consultas a grupos de tomadores de decisão via aplicação de questionários ou outro método de consulta, com posteriores cálculos das médias dos pesos (coeficientes médios) .
8 ^a	Montagem, testagem e adaptação das equações-modelo iniciais usando a Tabela auxiliar, as faixas de viabilidade e as operações matemáticas mais simples possíveis até que as percentagens do Igv(%) estejam adequadamente espaçadas em intervalos regulares de 10% em 10%, gerando-se assim uma equação-modelo adequada .
9 ^a	Montagem da equação-modelo final com as respectivas médias aritméticas (médias simples) de cada um dos coeficientes dos grupos de critérios e indicadores.
10 ^a	Aplicação da equação-modelo final aos casos desejados de tomada de decisão, obtendo-se os respectivos Igv(%). A definição dos valores para as variáveis dos indicadores deve ser feita pelos tomadores de decisão respectivamente relacionados aos casos estudados via aplicação de um segundo questionário, com posteriores cálculos das médias das variáveis dos indicadores .
11 ^a	Enquadramento, classificação e ranqueamento dos Igv(%) obtidos para determinar o comparativo de viabilidade global dos casos. Obs.: Somente faz sentido hierarquizar casos que pertençam a um mesmo portfólio (mesma empresa) e que tenham sido avaliados pelos mesmos tomadores de decisão.

O PEIT usa: (i) as operações matemáticas básicas (multiplicação, divisão e soma); (ii) tabelas-auxiliares; (iii) uma tabela com faixas de viabilidades predefinidas; (iv) a ferramenta computacional Microsoft Excel para tabulações, cálculos e modelagem do problema na forma de uma equação-modelo. Uma vez definidas as faixas percentuais de viabilidade para a equação-modelo, fez-se necessária a criação e a utilização de uma Tabela auxiliar para identificar e organizar os grupos de critérios e indicadores. Desta forma, cria-se uma **tabela auxiliar** (Tabela 2) que será formatada para permitir as definições adequadas das operações matemáticas para correlacionar os vários coeficientes e indicadores e, conseqüentemente, a obtenção de uma equação-modelo adequada.

Resultados e discussão

1^o Etapa: O problema em questão é a **viabilidade global de implantação de empreendimentos híbridos eólico-solares FV**. As usinas híbridas são novidades no setor elétrico brasileiro e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) as regulou em 30/11/2021 via **Resolução Normativa Nº. 954/2021**. As usinas híbridas de Tacaratu-PE e a de Caetitê/Igaporã-BA serão usadas no modelo PEIT, pois já foram implantadas e podem ser consideradas globalmente viáveis e respaldar o modelo.

2^o Etapa: Foram definidos **12 indicadores (critérios) adequados** e os mesmos foram agregados em **5 grupos de critérios de viabilidade**, conforme Tabela 2. Neste tipo de análise multicritério, alguns indicadores podem ser **eliminatórios** e outros indicadores podem ser **classificatórios**, ou seja, alguns indicadores podem ter um valor 0 e não impedir a viabilidade global do empreendimento híbrido, enquanto outros, caso tenham o valor 0, inviabilizam completamente o empreendimento.

3^o Etapa: Os **coeficientes** (ainda sem atribuição de pesos) são definidos para os respectivos grupos e indicadores. Os coeficientes dos grupos de critérios foram: **K₁, K₂, K₃, K₄, K₅**. Os coeficientes dos indicadores foram: **A₁, A₂, A₃, B₁, C₁, D₁, E₁, F₁, G₁, H₁, I₁, J₁**.

4^o Etapa: Para a **equação-modelo**, os indicadores também precisam de **variáveis** respectivas definidas pelo(s) decisor(es): **a₁, a₂, a₃, b₁, c₁, d₁, e₁, f₁, g₁, h₁, i₁, j₁**. Estas variáveis terão valores inteiros posteriormente atribuídos (entre 0 e 10) e definem uma função-objetivo (Equação 1) para o **Igv(%)**, que será ajustada via tabelas-auxiliares para o formato de uma equação-modelo adequada:

$$Igv(\%) = f(a_1, a_2, a_3, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, i_1, j_1) \quad (1)$$

5^o Etapa: Formata-se a Tabela 2 com os coeficientes definidos. Depois testa-se e ajusta-se a **tabela auxiliar** e a **função-objetivo** através de composições das operações matemáticas básicas (somadas e multiplicações) até a obtenção da tabela-auxiliar e da equação-modelo mais adequadas possíveis. No caso desta pesquisa, foram realizados três testes até a obtenção da tabela-auxiliar e da Equação 2:

$$Igv(\%) = \frac{100}{X} [K_1(A_1a_1 + A_2a_2 + A_3a_3) + B_1b_1 + C_1c_1 + D_1d_1] + K_2(E_1e_1 + F_1f_1) + K_3(G_1g_1) + K_4(H_1h_1) + K_5(I_1i_1 + J_1j_1) \quad (2)$$

6^o Etapa: O **perfil qualitativo-quantitativo** do PEIT para os Igv(%) é feito via **faixas % de viabilidade global predefinidas** (Tabela 2) atribuir o quanto um empreendimento híbrido eólico-solar FV será globalmente viável. No caso de um conjunto de empreendimentos híbridos pertencentes a um mesmo portfólio de uma mesma empresa, é possível classificar e hierarquizar os empreendimentos (ranqueamento) via seus respectivos Igv(%).

7^o Etapa: O pesquisador realizador deste trabalho atuou como o único profissional-especialista decisor e estimou os **valores dos pesos** dos coeficientes dos grupos de critérios e dos indicadores.

Os pesos estimados para os **coeficientes dos grupos de critérios** foram: **K₁ = 10; K₂ = 10; K₃ = 8; K₄ = 2; K₅ = 8**. Os pesos estimados para os **coeficientes dos indicadores** foram: **A₁ = 10; A₂ = 10; A₃ = 10; B₁ = 9; C₁ = 7; D₁ = 2; E₁ = 10; F₁ = 2; G₁ = 10; H₁ = 3; I₁ = 5; J₁ = 3**.

Exclusivamente para o cálculo do valor do **divisor geral “X”** usado na equação-modelo foi feita a multiplicação dos coeficientes já estimados para os respectivos indicadores com as variáveis nos valores máximos: **a₁ = a₂ = a₃ = b₁ = c₁ = d₁ = e₁ = f₁ = g₁ = h₁ = i₁ = j₁ = 10**.

8^o e 9^a Etapas: Como houve um único decisor atribuindo pesos aos coeficientes, as 8^a e 9^a etapas podem ser unificadas. Assim, usando-se a tabela auxiliar final (Tabela 2) e a equação 2, obtém-se a **equação-modelo final** (Equação 3) para o cálculo dos Igv(%).

Tabela 2. Tabela auxiliar ajustada para a montagem da Equação-Modelo.

1	Critérios Técnicos	Coeficientes		Indicadores (Variáveis)											
		K _i	10	a ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.1	Recurso Eólico (Velocidade de ventos)	A ₁	10	a ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.2	Recurso Solar (Irradiação solar)	A ₂	10	a ₂	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.3	Complementariedade	A ₃	10	a ₃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.4	Densidade de LT	B ₁	9	b ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.5	Densidade de Malhas de Transporte	C ₁	7	c ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.6	Densidade Demográfica	D ₁	2	d ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Critérios Econômicos	K ₂	10												
2.1	Viabilidade Econômico-Financeira	E ₁	10	e ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.2	Nível de Industrialização	F ₁	2	f ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Critérios Ambientais	K ₃	8												
3.1	Área Disponível Relativa	G ₁	10	g ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Critérios Sociais	K ₄	2												
4.1	IFDM	H ₁	3	h ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Critérios Regulatórios	K ₅	8												
5.1	Regulação/Legislação Vigente	I ₁	5	i ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.2	Segurança Jurídica	J ₁	3	j ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Índice Global de Viabilidade – Igv (%)				0,0%	10,0%	20,0%	30,0%	40,0%	50,0%	60,0%	70,0%	80,0%	90,0%	100,0%
X	7.500				Não	Baixa Atratividade	Média Atratividade	Alta Atratividade	OK						

Obs.: Os indicadores (critérios) em **vermelho** são **eliminatórios** e os em **azul** são **classificatórios**.

$$Igv(\%) = \frac{100a_1 + 100a_2 + 100a_3 + 90b_1 + 70c_1 + 20d_1 + 100e_1 + 20f_1 + 80g_1 + 6h_1 + 40i_1 + 24j_1}{75} \quad (3)$$

10^o Etapa: O pesquisador realizador deste trabalho levantou informações a respeito das duas usinas híbridas **Tacaratu-PE** e a de **Caetitê/Igaporã-BA**. A partir disto, ele estimou valores para as variáveis da equação-modelo e as aplicou nos cálculos dos Igv(%).

Para as variáveis referentes à usina híbrida de **Tacaratu-PE**: **a₁=9; a₂=9; a₃ = 9; b₁= 6; c₁=6; d₁=9; e₁ = 8; f₁=2; g₁ =9; h₁= 2; i₁ = 9; j₁ = 9**. $\rightarrow Igv(\%)_{TACARATU} = 79,8\%$

Para as variáveis referentes à usina híbrida de **Caetitê/Igaporã-BA**: **a₁=9; a₂=8; a₃ = 9; b₁= 4; c₁=5; d₁=9; e₁ = 7; f₁=2; g₁ =9; h₁= 3; i₁ = 9; j₁ = 9**. $\rightarrow Igv(\%)_{CAETITÊ/IGAPORÃ} = 73,9\%$

11^o Etapa: Avaliando-se os Igv(%) pela Tabela 2, os Igv (%) de **Tacaratu e de Caetitê/Igaporã estão na faixa de Alta Atratividade**. Estes resultados eram os esperados, pois estas usinas híbridas já tinham sido implantadas com conhecimentos prévios de suas viabilidades globais por parte das empresas. Uma vez que elas pertencem a empresas diferentes (portfólios distintos), não é possível hierarquizá-las entre si.

Conclusões

O novo método multicritério PEIT foi aplicado com êxito nas duas usinas híbridas eólico-solares FV existentes no Brasil e atendeu as expectativas, pois calculou os Igv(%) coerentes de viabilidade global, uma vez que as usinas já haviam sido implantadas de forma estratégica e favorável em termos de viabilidade por parte de suas empresas proprietárias.

Agradecimentos: Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao PEI-UFBA e ao Laboratório de Energia e Gás (LEN-UFBA) pelo apoio fornecido nesta pesquisa.