



## AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS NA SELEÇÃO DE PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO *FUZZY AHP*

### *CRITERIA EVALUATION IN ENERGY EFFICIENCY PROJECTS SELECTION USING FUZZY AHP*

 **Alessandro Alves**

Doutor

Universidade Federal do ABC – UFABC.  
São Bernardo do Campo, São Paulo – Brasil.  
[alessandro.alves@ufabc.edu.br](mailto:alessandro.alves@ufabc.edu.br)

 **Douglas Alves Cassiano**

Doutor

Universidade Federal do ABC – UFABC.  
São Bernardo do Campo, São Paulo – Brasil.  
[douglas.cassiano@ufabc.edu.br](mailto:douglas.cassiano@ufabc.edu.br)

#### **Resumo**

Dada a complexidade e multiplicidade de critérios usados na seleção dos projetos, efetuar sua avaliação não se trata de uma tarefa trivial. No que se refere a projetos de eficiência energética em particular, não se encontram, na atualidade, estudos significativos publicados na literatura especializada que possibilitem a compreensão plena da importância dada aos critérios usados na seleção desses projetos. Assim, o presente estudo busca identificar a influência dos critérios utilizados na seleção de projetos de eficiência energética. Visando trazer um pouco mais de luz sobre essa temática, foi considerada a opinião de especialistas na avaliação de projetos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), utilizando a ferramenta de Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios denominada Processo de Hierarquia Analítica Difusa. Os resultados do estudo demonstraram que a energia economizada e a redução de demanda na ponta são os critérios mais relevantes, representando quase 4/5 do peso da decisão para os especialistas, sendo que o custo do projeto representa em torno de 1/5 no peso da decisão.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Portfólio de projetos. Critérios. *Fuzzy AHP*.

#### **Abstract**

Given the complexity and multiplicity of criteria used in project selection, evaluating them is not a trivial task. Regarding energy efficiency projects in particular, there are currently no significant studies published in the specialized literature that enable a full understanding of the importance given to the criteria used in the selection of these projects. Therefore, this study aims to identify the influence of the criteria used in the selection of energy efficiency projects. Aiming to shed a little more light on this topic, this study considered the opinion of experts in the evaluation of projects from the National Electric Energy Agency (ANEEL), using the Decision Making tool with Multiple Criteria called the Fuzzy Analytical Hierarchy Process. The results of the study demonstrated that the energy saved and the reduction in demand at the peak are the most relevant criteria, representing almost 4/5 of the weight of the decision for experts, with the project cost representing around 1/5 of the weight of the decision.

**Keywords:** Energy efficiency. Project portfolio. Criteria. *Fuzzy AHP*.

#### **Cite como**

*American Psychological Association (APA)*

Alves, A., & Cassiano, D.A. (2024, maio / ago.). Avaliação dos critérios na seleção de projetos de eficiência energética utilizando *Fuzzy AHP*. *Revista de Gestão e Projetos (GeP)*, 15(2), 265-291.  
<https://doi.org/10.5585/gep.v15i2.25369>

## 1 Introdução

Entre os anos de 1900 e 2000, a população mundial cresceu quatro vezes e o consumo de energia elétrica no planeta cresceu doze vezes (Krausmann *et al.*, 2009). As previsões da *International Energy Agency* (IEA) indicaram que o consumo de energia elétrica em 2030 será 40% superior à demanda identificada em 2007, situação que suscita preocupações, não somente em como produzir essa energia, mas também com as consequências dessa produção ao meio ambiente e saúde (González *et al.*, 2011). O maior desafio global na atualidade, que se destaca à necessidade de redução da pobreza, é o enfrentamento da crise climática (Cornelis, 2020).

No Brasil, o consumo de energia elétrica *per capita* vem aumentando ano a ano, tendo subido de 0,60 MWh/hab.ano em 1973 para 2,57 MWh/hab.ano, em 2018 (MME, 2020). Valor baixo quando comparado com países desenvolvidos, como Estados Unidos, Japão e França, que, em 2018, apresentaram consumo de 13,10, 8,01 e 7,14 MWh/hab.ano, respectivamente. Porém, superior ao de seus vizinhos, como a Colômbia, Venezuela e Paraguai, com 1,45, 2,35 e 1,87 MWh/hab.ano, respectivamente (IEA, 2021).

O atendimento à demanda por eletricidade depende de estratégias de curto, médio e longo prazo, planejadas para o acesso à energia em diferentes setores da sociedade a preços razoáveis, de forma a proporcionar um desenvolvimento sustentável (Da Silva *et al.*, 2005). Neste cenário, os projetos de implantação de ações de eficiência energética (AEE) que têm por finalidade a redução do consumo e dos valores pagos pelo fornecimento da energia exercem um importante papel.

Neste contexto, a seleção de portfólio de projetos (*PPS – Project Portfolio Selection*) é um problema muito conhecido e presente em diversos campos, existindo, na literatura, um grande histórico de abordagens para se modelar e inúmeras técnicas para se resolver (Mira *et al.*, 2012). A resolução de um problema dessa natureza é norteadada pela obtenção de diversos resultados, dentre eles, destacam-se a orientação das decisões para a realização de investimentos (PMI, 2017, p. 15) e a análise do mérito dos projetos quanto aos resultados, exequibilidade, viabilidade orçamentária e o alinhamento ao planejamento estratégico dos projetos à estratégia da instituição (ABDI, 2014). Um eficiente gerenciamento de portfólio de projetos possibilita a obtenção dos benefícios esperados pela instituição detentora do poder de decisão (Oliveira, 2021).

Alguns pesquisadores vêm desenvolvendo estudos no Brasil, referente a decisões em portfólio de projetos em energia. Camargo *et al.* (2020) desenvolveram um estudo referente à

seleção de portfólio de usinas eólicas. Ekel *et al.* (2019) desenvolveram ferramentas metodológicas e computacionais para a seleção de projetos de linhas de transmissão de energia elétrica. Maier *et al.* (2016) desenvolveram um modelo para auxiliar a decisão de investimentos em fontes de energia renováveis. Freire *et al.* (2015) desenvolveram estudo para a seleção de portfólios renováveis no sistema elétrico brasileiro. Mira *et al.* (2013) propuseram um sistema de apoio à decisão (*DSS – Decision Support System*) para seleção de projetos de energia na empresa AES Tietê. Mira *et al.* (2012) desenvolveram um modelo para a seleção e ranqueamento de projetos, ou *PPS*, na indústria de geração de energia. Gehrke *et al.* (2022) analisaram a matriz energética e o desenvolvimento sustentável, por meio de dados energéticos brasileiros, inclusive os divulgados pela ANEEL. Gonçalves dos Santos *et al.* (2014) analisaram os resultados obtidos pelos projetos P&D da ANEEL.

O uso eficiente de energia ou, simplesmente, a eficiência energética (EE) gera muitos benefícios, como a segurança energética, maior competitividade, maior produtividade, geração de empregos, aumento do bem-estar da população, redução dos gastos com saúde pública e redução de impactos ambientais, dentre outros (Faria *et al.*, 2022). Porém, a preocupação mais acentuada com a EE no Brasil se iniciou apenas na ocasião dos choques do petróleo, que compreende os períodos de 1973 a 1974 e entre 1979 e 1981, devido à possibilidade de escassez desse recurso natural e o consequente aumento dos preços. Essa situação resultou numa série de ações voltadas à conservação e à busca pela otimização da EE e por alternativas de diversificação da matriz energética para se conquistar maior segurança no atendimento da demanda (MME, 2011).

Há décadas, amparado por um arcabouço de legislação, o país vem desenvolvendo programas de EE reconhecidos internacionalmente (CEPEL, 2015), como: (i) o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, coordenado pelo INMETRO, que tem como objetivo informar o desempenho energético dos produtos através da Etiqueta Nacional de Conservação da Energia - ENCE (INMETRO, 2021); (ii) o PROCEL, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e sediado na empresa Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRAS, que tem como missão incentivar a conservação de energia e o combate ao desperdício em todo o território brasileiro, desenvolvendo projetos direcionados, através de iniciativas conjuntas, desde o uso final da energia até ações de divulgação de conhecimento e educação (ELETROBRAS, 2022); e (iii) o Programa de Eficiência Energética - PEE da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que promove ações visando o uso eficiente da energia elétrica

em todos os setores econômicos do país (ANEEL, 2021).

O PEE vem sendo implementado no Brasil, com base na diretriz da Lei nº 10.295/2001 (2001), por meio da Lei nº 9.991/2000 (2000). Seu objetivo central é demonstrar a importância e a viabilidade tanto do combate ao desperdício de energia elétrica, quanto da EE de equipamentos, processos e demais usos de energia, buscando maximizar os serviços públicos oferecidos por meio da economia de energia, de forma a conduzir a transformação do mercado de eletricidade, estimulando novas tecnologias e a criação de novos hábitos de utilização da energia elétrica (MME, 2011). As instituições públicas, comerciais, industriais e residenciais vêm, por meio do PEE da ANEEL, investindo em AEE, buscando a melhoria das suas condições de EE. São propostos inúmeros projetos às Chamadas Públicas e processos de seleção de projetos promovidos pelas empresas distribuidoras de energia elétrica e permissionárias em todo o Brasil.

No repositório de projetos de EE do PEE da ANEEL, foram identificados os projetos executados e em andamento por meio do programa no Brasil. Analisando as informações, foi verificado o registro de dados de quatro critérios utilizados para a caracterização desses projetos: (i) o custo total de implantação do projeto; (ii) a energia economizada mediante a implantação das AEE; (iii) a redução de demanda obtida na ponta; e (iv) a Relação Custo-Benefício (RCB) do projeto. Diante dos valores desses critérios, surgiu o questionamento referente à importância de cada um deles na seleção de um projeto de EE.

Na busca por promover o maior entendimento do fenômeno e possibilitar a realização de estudos relacionados, buscou-se, por meio de uma revisão bibliográfica, identificar estudos referentes à definição de importância dos critérios registrados pelo PEE da ANEEL. Porém, não foi identificado nenhum estudo que elucidasse com clareza o tema. Desse modo, foram analisados os estudos que mais se aproximaram, como: os relacionados ao desenvolvimento de protótipos de sistemas de apoio à decisão para empresas de distribuição de energia (Mira *et al.*, 2012; Mira *et al.*, 2013); de desenvolvimento de projetos de EE em IPES (Faria *et al.*, 2022); de análise do padrão de investimentos em projetos do PEE (Jannuzzi & Santos, 2005); e de análise de projetos aprovados no PEE (Vieira *et al.*, 2016).

Como consequência dessas investigações, surgiu a identificação de uma lacuna na literatura que ressaltou a necessidade de realização deste estudo, na busca por ampliar o conhecimento relativo à identificação dos pesos de importância dos critérios registrados no repositório, fundamentando o objetivo deste estudo, que é identificar a influência dos critérios

utilizados na seleção de projetos de eficiência energética. A proposta trata do desenvolvimento de um *framework* para identificar a influência dos critérios utilizados pelo PEE da ANEEL na seleção de projetos de eficiência energética, utilizando o *Multiple Criteria Decision Making – MCDM*, denominado *Fuzzy Analytical Hierarchy Process – FAHP*, buscando fornecer uma contribuição ao avanço do conhecimento relativo à importância dos critérios em problemas de tomada de decisão em portfólio de projetos.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Portfólio de projetos

Projeto é compreendido por um esforço temporário despendido em ações para a criação de um produto, serviço ou resultado único (PMI, 2021). Já o portfólio de projetos se refere a uma coleção de projetos que compartilham um ponto em comum (Wysocki, 2019). Trata-se de um conjunto de projetos, programas ou outros tipos de trabalhos agrupados para facilitar o seu gerenciamento, com a finalidade de atender aos objetivos estratégicos da instituição (ABDI, 2014). Segundo o PMI (2017), portfólio é um conjunto de projetos, programas e outras atividades reunidas para facilitar um gerenciamento eficaz, com foco em atingir os objetivos estratégicos do negócio, estabelecidos pela organização.

Os projetos de um portfólio competem por parte de um conjunto de recursos limitados (PMI, 2017), ou seja, os projetos que competem pelos mesmos recursos financeiros devem fazer parte de um mesmo portfólio (Cooper *et al.*, 1997). A seleção de portfólio de projetos, ou *PPS*, consiste em construir um portfólio de projetos que se caracteriza pela seleção de projetos agendados ao longo de um dado período, utilizando critérios e restrições de recursos potencialmente conflitantes (Mira *et al.*, 2012).

Uma governança eficiente do portfólio possibilita a alocação de recursos de acordo com critérios, como a prioridade de cada componente, o desempenho e benefícios esperados (Oliveira, 2021; Teixeira & Pedron, 2023). A gestão de múltiplos projetos é complexa, pois envolve uma grande variedade de tipos de projetos, que apresentam características diferentes; uns são pequenos e outros grandes, técnicos e não técnicos, estratégicos e operacionais, e essa diversidade aumenta o risco. Os principais *stakeholders* que participam do processo de decisão do gerenciamento de portfólio de projetos (*PPM*) são: diretores e superintendentes, em 80% dos casos; gerentes de projeto, em 60%; CEO, em 40%; e gerentes funcionais, em 33% dos casos (Castro & Carvalho, 2010).

## 2.2 Método de decisão multicritério

Utilizada em diversos campos de atuação, uma das ferramentas para auxiliar na tomada de decisões de portfólio de projetos é o *Multiple Criteria Decision Making - MCDM* (Zopounidis, 1999). O *MCDM* consiste em uma das teorias mais poderosas para lidar com problemas que impactam, extensivamente, os problemas reais da vida humana (Santin *et al.*, 2023; Umer *et al.*, 2021).

Estudos e aconselhamentos à tomada de decisão com múltiplos critérios podem ser identificados entre dois e três séculos atrás, porém as discussões modernas sobre o tema iniciaram na década de 1970, apresentando cerca de meio século de existência (French, 2023). Na década de 1970, surgiram os primeiros métodos de apoio multicritério à decisão, para auxiliar os decisores a resolver problemas com racionalidade, de modo que diversos objetivos fossem atingidos simultaneamente (Gomes *et al.*, 2011). Os decisores (atores que acumulam responsabilidade pela decisão tomada) tomam, como base, critérios aos quais são atribuídos pesos de importância, obtidos através de julgamentos, para realizar o ranqueamento de alternativas disponíveis.

Dentre os métodos *MCDM* conhecidos, podemos destacar o: *Elimination and Choise Translating Algorithm - ELECTRE*, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS*, *ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje – VIKOR*, *Preference Ranking Organization Method for Enrichment - PROMETHEE* e o *Analytic Hierarchy Process - AHP* (Manirambona *et al.*, 2022), utilizado neste estudo.

## 2.3 Projeto de eficiência energética

A EE é a condição em que é produzido o mesmo produto ou serviço, utilizando menor quantidade de energia (Patterson, 1996). É a forma menos danosa ao meio ambiente e a fonte de menor custo para se aumentar a disponibilização de energia. A economia de energia se trata da redução do consumo de energia. Essa condição pode ser obtida por meio da implantação de uma AEE, que é compreendida por uma ou um conjunto de atividades desenvolvidas para buscar aumentar a EE de uma instalação, sistema, processo ou equipamento (EVO, 2012). Portanto, um projeto de EE pode ser compreendido por “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único” (PMI, 2017, p. 4) para a implantação de uma AEE (EVO, 2012). Qualquer ação relativa à implantação de um sistema de uso eficiente de energia nos setores residencial, comercial, industrial ou público, deve, necessariamente,

envolver projetos de EE, que compreende um conjunto de estudos, procedimentos e ações com o objetivo de redução ou eliminação dos desperdícios no consumo da energia elétrica (Faria *et al.*, 2022).

Os projetos de EE visam a diminuição do consumo e a redução dos valores das contas de energia elétrica. Contemplam um conjunto de AEE, que, em geral, incluem: a substituição dos sistemas de iluminação; *retrofit* dos sistemas de condicionamento de ar; *retrofit* dos sistemas de refrigeração; instalação de sistemas solares de aquecimento de água; instalação de sistemas de geração fotovoltaica; *retrofit* de sistemas motrizes (bombas d'água, elevadores, etc.); instalação de sistemas de automação da iluminação; implantação de programas de educação e treinamento; incentivo a pesquisadores; e o sistema de monitoramento, que precisa ser implementado para que seja possível a verificação dos ganhos e o acompanhamento a longo prazo.

#### 2.4 Projetos PEE ANEEL

Dentre outras muitas atribuições, a ANEEL tem como responsabilidade a regulamentação dos programas de EE no país (ANEEL, 2018). Um desses programas, o Programa de Eficiência Energética – PEE, tem, como objetivo, a promoção do uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia brasileira, por meio da aplicação anual de um percentual da Receita Operacional Líquida - ROL das empresas concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, em conformidade com a Lei nº 9.991 (2000), de 24 de julho de 2000, buscando majorar os benefícios públicos por meio da energia economizada e demanda evitada, de modo a promover a transformação do mercado de EE e estimular o desenvolvimento de tecnologias e a criação de hábitos e práticas de uso eficiente (ANEEL, 2022).

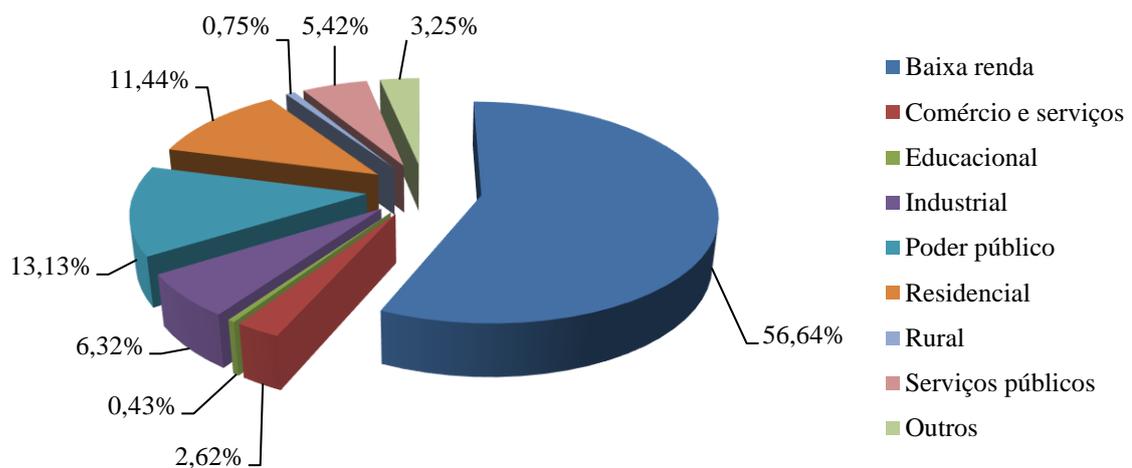
O PEE contempla projetos de todos os setores econômicos, classes e usos finais. Alguns projetos apresentam características especiais quanto à importância em relação ao desenvolvimento da EE ou em relação à forma de contratação. As tipologias estabelecidas no PEE, são: Industrial, Comércio e Serviços, Poder Público, Serviços Públicos, Rural, Residencial, Baixa Renda, Gestão Energética Municipal, Educacional e Iluminação Pública. Esse programa é considerado a principal fonte de recursos para que sejam atingidas as metas estabelecidas pelos planejamentos de longo e médio prazo para o setor de energia, como: o Plano Nacional de Energia – PNE e o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE, elaborados

pelo Ministério de Minas e Energia – MME, com o suporte da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (ANEEL, 2018).

A contribuição média anual de cada tipologia na economia de energia geral do PEE pode ser verificada na Figura 1.

**Figura 1.**

*Participação média das tipologias na energia economizada com o PEE até 2022*



**Fonte:** Elaborado a partir de ANEEL (2023b).

Observa-se que a tipologia Baixa Renda se mostra a responsável por 56,64% da economia proporcionada pelo PEE, se apresentando como líder isolada nessa posição. Porém, na segunda posição, encontra-se a tipologia Poder Público, sendo atribuída a responsabilidade por 13,13% da economia de energia elétrica proporcionada pelo programa.

Os investimentos realizados no âmbito do PEE da ANEEL vêm aumentando nas últimas décadas. Em 2008, o valor investido foi da ordem de 138 milhões, já nos anos de 2019 e 2020, esse montante superou os 600 milhões de reais por ano (ANEEL, 2023a).

Nesses anos de existência do PEE, são identificados importantes resultados. Nos anos de 2009, 2010 e 2011, é perceptível a existência de uma rampa ascendente, que demonstra um crescimento da quantidade de energia economizada, partindo de cerca de 75.993 MWh/ano para cerca de 382.870 MWh/ano. Porém, a partir de 2012, apesar de haver a manutenção dos índices de recursos financeiros anuais investidos, a quantidade de energia economizada apresentou a tendência de redução, apresentando economia inferior a 35.000 MWh/ano nos anos de 2017 e 2018 (ANEEL, 2023b).

### 3 Procedimentos metodológicos

Em todo o mundo, os métodos *MDCM* são utilizados para auxiliar a resolução de problemas de tomada de decisão em diversos segmentos, inclusive na área de projetos de energia. Wang *et al.* (2018), no Vietnã, desenvolveram um modelo utilizando o *MCDM* para a seleção da localização de usinas de geração de energia solar; Shafiee (2022), no Reino Unido, e Solangi *et al.* (2018), no Paquistão, para a seleção de locais para instalação de usinas de geração eólica; Özcan *et al.* (2020), na Turquia, para o planejamento de usinas hidrelétricas; Taylan *et al.* (2020), na Arábia Saudita, para revelar sistemas de energia mais adequados para investimento; e Mardani *et al.* (2016), no Irã, para a seleção das principais tecnologias e soluções de economia de energia em hotéis. Com base no resultado obtido por alguns desses estudos, foram realizadas as opções metodológicas deste trabalho.

#### 3.1 Objeto e sujeitos

O objeto do estudo é composto pelos dados dos projetos de eficiência energética existentes no repositório do PEE da ANEEL, especificamente os critérios utilizados para classificação e categorização dos projetos cadastrados: custo de implantação do projeto (R\$); energia elétrica economizada (MWh/ano); e redução de demanda no horário de ponta (kW/ano).

Os sujeitos da pesquisa são dez especialistas atuantes em institutos e universidades federais e estaduais de Ensino Superior - IPES: cinco acadêmicos, caracterizados por doutores, docentes e pesquisadores, das áreas de energia e eletricidade; e cinco dirigentes e profissionais técnicos das áreas de manutenção e execução de obras. Esse grupo tem propriedade relativa à experiência na execução de instalações e no desenvolvimento de pesquisas relacionadas a projetos de eficiência energética, com base no PEE da ANEEL.

#### 3.2 Classificação da pesquisa

A pesquisa é caracterizada como um estudo de caso, de abordagem qualitativa, com objetivo explicativo, procedimento experimental, em uma abordagem de estudo teórico-empírico e em um recorte longitudinal. Os dados são do tipo primário, por meio de entrevistas semiestruturadas com decisores, e secundário, mediante a utilização de dados oriundos do repositório do PEE ANEEL, especificamente os critérios utilizados para classificação e categorização dos projetos de eficiência energética do programa. O método de análise consiste

na utilização de uma ferramenta *MCDM*, denominada *Fuzzy AHP* para a obtenção dos pesos dos critérios.

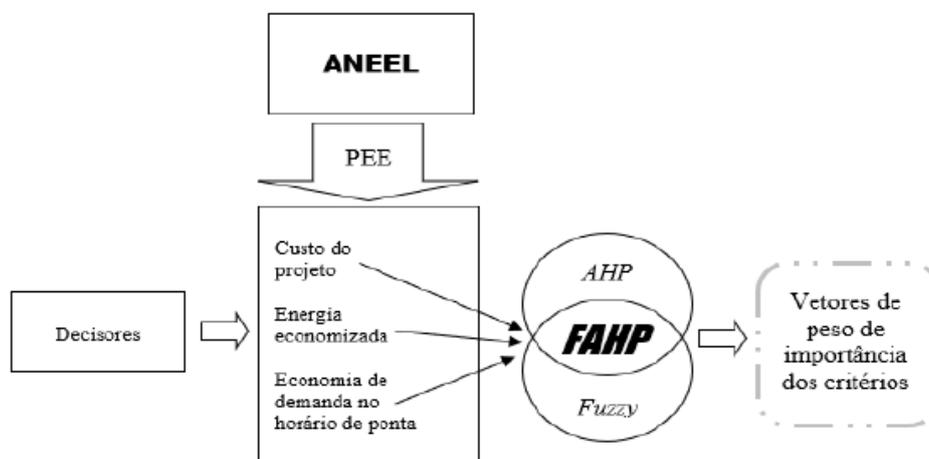
### 3.3 Etapas de desenvolvimento

Para a realização deste trabalho, foi proposto o desenvolvimento do *framework* apresentado na Figura 2. A aplicação consistiu no cumprimento de cinco etapas para atingir o objetivo estabelecido no estudo:

- Etapa 1: após o estabelecimento do objetivo do estudo, essa etapa consistiu em definir os decisores adequados, no caso específico, especialistas com experiência em propor ou avaliar projetos da ANEEL.
- Etapa 2: por meio do repositório de projetos do PEE da ANEEL, foram obtidos os três critérios testados, no caso específico: energia economizada, redução de demanda na ponta e custos de implantação dos projetos.
- Etapa 3: desenvolvimento do formulário, contendo as três questões no formato *trade-off*.
- Etapa 4: realização das entrevistas semiestruturadas por questionário, junto ao grupo de decisores para obtenção dos julgamentos dos critérios.
- Etapa 5: as respostas dos decisores foram utilizadas na aplicação do *FAHP* para a obtenção dos vetores de peso de importância dos critérios estabelecidos.

**Figura 2.**

*Framework do Estudo*



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.4 Número fuzzy triangular

Desenvolvida em 1965 por Lotfi A. Zadeh, com o objetivo de resolver a imprecisão e ambiguidade da cognição e do julgamento dos seres humanos, a Teoria dos Conjuntos Difusos possibilita o processamento de incertezas associadas ao pensamento e raciocínio, trabalhando as preferências humanas, que, por vezes, são subjetivas, incertas e ambíguas, e possibilitando a sua representação em valores numéricos exatos (Kannan *et al.*, 2013).

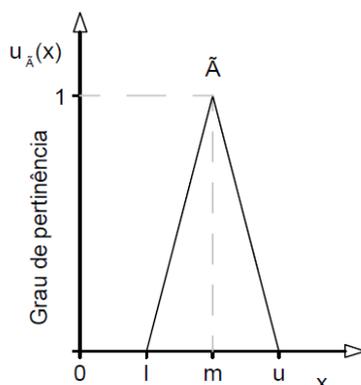
Os números difusos, ou números *fuzzy*, podem ser dos tipos triangular, trapezoidal ou gaussiano. Um número *fuzzy* triangular, *Triangular Fuzzy Number – TFN*, é composto por um trio de valores numéricos ( $l, m, u$ ) e representado por uma letra com um til ( $\tilde{A}$ ) (Jain *et al.*, 2022). Os números *fuzzy* deste estudo são do tipo triangular, podendo ser representados por meio da função de pertinência triangular de números *fuzzy*, apresentada na Equação 1 e representada na Figura 3.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \tilde{A} = (l, m, u) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq l \\ & \text{ou} \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{se } x \in [l, m] \\ & \text{ou} \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{se } x \in [m, u] \\ & \text{ou} \\ 0, & \text{se } x \geq u \end{cases} \quad (1)$$

O grau de pertinência indica a possibilidade de um dado elemento pertencer ao conjunto *fuzzy*, conforme o eixo vertical do gráfico da função de pertinência triangular difusa. Seu valor pode variar numa escala de 0 a 1, sendo que o zero sinaliza que o elemento não pertence ao conjunto e o 1 indica o total pertencimento.

**Figura 3.**

*Função de Pertinência Triangular Difusa*



**Fonte:** Elaboração a partir de Kannan *et al.* (2013).

### 3.5 Método Fuzzy AHP

O *MDCM AHP* criado pelo professor Thomas L. Saaty (1980) é um dos primeiros métodos desenvolvidos e, provavelmente, o mais utilizado por todo o mundo (Gomes *et al.*, 2011). Criado para avaliar alternativas complexas que contêm múltiplos atributos por um ou mais decisores (Emrouznejad & Marra, 2017), no *AHP* os problemas são decompostos em partes, organizando os critérios e tributos em níveis hierárquicos. As avaliações são realizadas pelo julgamento dos decisores. Gera um vetor de ordenação percentual de preferência de alternativas a partir de escolhas de decisores, *trade offs*, entre pares ordenados. É utilizado como base para várias metodologias *MCDM*, podendo ser combinado a outras teorias, como a Teoria dos Conjuntos Difusos (Sharma *et al.*, 2023).

O *Fuzzy AHP*, ou *FAHP*, é caracterizado como uma extensão do método *AHP* (Jaiswal *et al.*, 2015), integrando números difusos ao método desenvolvido por Saaty (1980). O método busca expressar de forma numérica as avaliações dos seres humanos, incluindo as suas subjetividades e imprecisões (Calabrese *et al.*, 2016). O primeiro *FAHP* foi desenvolvido por meio da utilização de números difusos triangulares em 1983 por Van Laarhoven e Pedrycs (Emrouznejad & Ho, 2017), porém também foram desenvolvidas novas versões utilizando a função de pertinência trapezoidal (Onar *et al.*, 2016) e de pertinência Gaussiana (Paul, 2015).

Nesse estudo, é utilizado o método *FAHP* de cinco passos, utilizando números difusos triangulares, para a determinação dos vetores de peso dos critérios utilizados para a seleção dos projetos de EE do PEE da ANEEL.

Passo 1 – Identificação dos critérios de seleção dos projetos de EE do PEE, dos especialistas consultados e modelagem do problema como uma hierarquia.

Passo 2 - Comparações entre pares, referentes à importância dos critérios de seleção dos projetos de EE do PEE, utilizando a média geométrica para integrar as opiniões dos especialistas de acordo com a Equação 2:

$$l = (l_1 * l_2 * \dots * l_k)^{1/k}, m = (m_1 * m_2 * \dots * m_k)^{1/k}, u = (c_1 * u_2 * \dots * u_k)^{1/k} \quad (2)$$

Onde,

$(l, m, u)$  – número *fuzzy* triangular

$(1, 2, \dots, K)$  – número de especialistas

Passo 3 – Determinação da matriz de decisão, sintetizando os julgamentos para preparar um conjunto de prioridades gerais para a hierarquia.

Definição da matriz de comparação par-a-par, mediante a aplicação da escala de importância relativa (Saaty, 1980), conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.**

*Escala Fundamental de Importância Relativa*

Importância relativa	Importância linguística	Descrição
1	Igual importância	As duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena ou moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem uma alternativa em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma alternativa é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância Absoluta ou extrema	A evidência favorece uma alternativa em relação à outra, com o mais alto grau de afirmação.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9	Valores para comparação inversa	Adotado diretamente à alternativa oposta na análise.

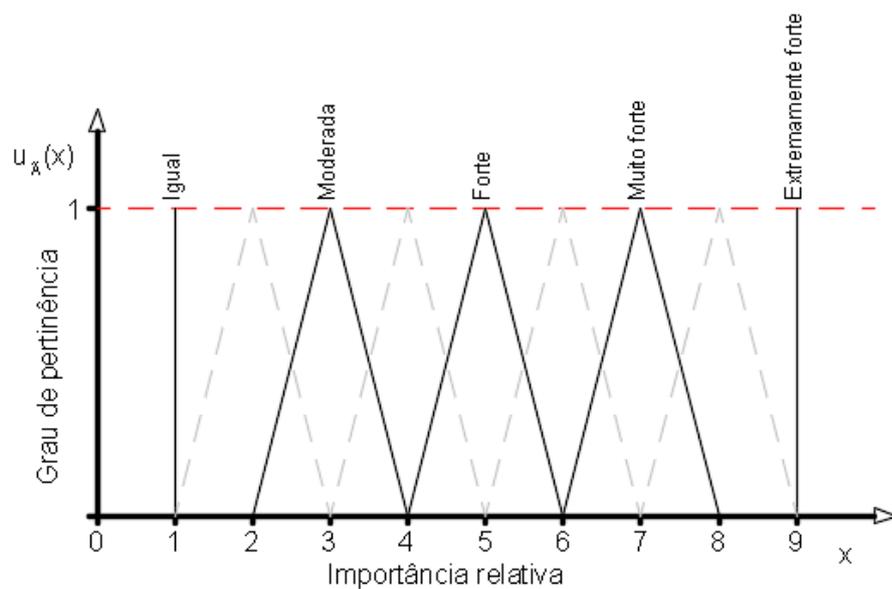
**Fonte:** Adaptado de Saaty (1980).

Realização da fuzzificação (expressão que se refere à ação de transformar um valor numérico em um número difuso) por meio da função de pertinência triangular de números *fuzzy*, apresentada na Equação 1 e representada pela Figura 3.

A fuzzificação da intensidade relativa para o *FAHP* pode ser representada pela função de pertinência da escala difusa, apresentada na Figura 4.

**Figura 4.**

*Escala Difusa de Importância Relativa*



**Fonte:** Elaboração a partir de Kannan *et al.* (2013).

Os números *fuzzy* recíprocos de intensidade relativa são dados segundo a Equação 3.

$$\tilde{A}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l}\right) \quad (3)$$

Passo 4 – Verificação da consistência final dos julgamentos, por meio da Equação 4, da Taxa de Consistência, ou *Consistency Ratio - CR*, para avaliar a possível existência de erros que ocasionem classificações conflitantes.

$$CR = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{(n - 1) * RI} \quad (4)$$

Onde,

$n$  – ordem da matriz de comparações

$\lambda_{m\acute{a}x}$  – autovalor máximo da matriz de comparações, obtido por meio da Equação 5.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = Média \left[ \frac{D * W_n}{W_n} \right] \quad (5)$$

$D$  – matriz de comparação par-a-par

$W_n$  – vetor de pesos normalizados

$RI$  – *Random Consistency Index*, dado pela Tabela 2, em  $f(n)$ .

**Tabela 2.**

*Índice de Consistência Aleatória (RI)*

$n$	$RI$
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

**Fonte:** Elaboração a partir de Jaiswal *et al.* (2015).

Segundo Saaty (1980), caso a Taxa de Consistência ( $CR$ ) atenda a função dada pela Equação 6, os julgamentos realizados para os critérios poderão ser considerados verdadeiros.

$$CR \leq 0,10 \quad (6)$$

**Passo 5** – Transformação da matriz de comparação pareada de julgamento dos critérios em variáveis linguísticas e cálculo dos vetores de peso de cada critério, por meio do conceito básico do *FAHP*, em números difusos triangulares.

O valor médio geométrico difuso ( $\tilde{r}_i$ ), dado pela Equação 7, é necessário para o cálculo dos pesos dos critérios.

$$\tilde{r}_i = ((l_1, l_2, \dots, l_n)^{1/n}, (m_1, m_2, \dots, m_n)^{1/n}, (u_1, u_2, \dots, u_n)^{1/n}) \quad (7)$$

O vetor peso *Fuzzy* ( $\tilde{w}_i$ ) para cada critério é obtido por meio da Equação 8.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i * (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (8)$$

A defuzzificação (expressão que se refere à ação de transformar um número difuso em um valor numérico) é realizada por meio do centro da área, para a obtenção dos vetores de peso dos critérios ( $w_i$ ), conforme dado pela Equação 9.

$$w_i = \left( \frac{l + m + u}{3} \right) \quad (9)$$

Os pesos normalizados ( $Nw_i$ ) são obtidos por meio da Equação 10.

$$Nw_i = \left( \frac{w_i}{\sum w_i} \right) \quad (10)$$

## 4 Análise e discussão dos resultados

### 4.1 Julgamentos dos especialistas

Por meio das consultas aos especialistas, foram obtidos os julgamentos de importância par-a-par dos três critérios avaliados: custo de implantação do projeto, energia economizada e redução de demanda na ponta, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.**

*Julgamentos dos Especialistas*

Especialista	Demanda Ponta x Custo Projeto		Custo Projeto x Energia Economizada		Demanda Ponta x Energia Economizada	
	Critério selecionado	Intensidade de importância	Critério selecionado	Intensidade de importância	Critério selecionado	Intensidade de importância
Especialista 1	Igual		Igual		Energia Economizada	Forte/ Muito forte
Especialista 2	Igual		Igual		Demanda Ponta	Forte / Muito forte
Especialista 3	Custo Projeto	Muito forte	Igual		Energia Economizada	Muito forte/ Extremamente forte
Especialista 4	Igual		Igual		Demanda Ponta	Muito forte
Especialista 5	Demanda Ponta	Forte/ Muito forte	Energia Economizada	Forte/ Muito forte	Igual	
Especialista 6	Demanda Ponta	Muito forte	Energia Economizada	Muito Forte	Igual	
Especialista 7	Demanda Ponta	Moderada/ Forte	Energia Economizada	Forte	Energia Economizada	Moderada
Especialista 8	Custo Projeto	Igual/ Moderada	Energia Economizada	Igual/ Moderada	Energia Economizada	Igual/ Moderada
Especialista 9	Demanda Ponta	Moderada	Energia Economizada	Forte	Energia Economizada	Moderada/ Forte
Especialista 10	Demanda Ponta	Forte/ Muito Forte	Custo Projeto	Moderada/ Forte	Demanda Ponta	Moderada/ Forte

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

No julgamento par-a-par realizado entre os critérios redução de demanda na ponta e custo do projeto, resultou em 50% de opção pela demanda na ponta, 30% optou pela classificação de igualdade na importância entre os dois critérios e 20% optou pelo custo do projeto. As intensidades de importância variaram entre Igual/Moderada e Muito Forte. Entre os critérios custo do projeto e energia economizada, 50% dos especialistas optou pelo critério energia economizada, 40% optou pela igualdade entre os critérios e apenas 10% pelo custo do projeto. As intensidades variaram entre Igual/Moderada a Muito Forte.

No último julgamento, realizado entre os critérios redução de demanda na ponta e quantidade de energia economizada, 50% dos especialistas optou pela energia economizada, 30% optou pela redução de demanda na ponta e 20% pela igualdade de importância entre os dois critérios. As intensidades variaram entre Igual/Moderada e Muito Forte.

#### 4.2 Matriz de julgamentos dos especialistas

Por meio dos julgamentos dos critérios, foi definida a matriz de julgamento *Fuzzy AHP*, por meio da aplicação do modelo do estudo, para cada um dos especialistas, conforme apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.**

*Matriz de julgamento Fuzzy AHP de cada especialista*

		Demanda Ponta	Custo Projeto	Energia Economizada
Especialista 1	Demanda Ponta	(1,1,1)	(1,1,1)	$(\frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5})$
	Custo Projeto		(1,1,1)	(1,1,1)
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 2	Demanda Ponta	(1,1,1)	(1,1,1)	(5,6,7)
	Custo Projeto		(1,1,1)	(1,1,1)
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 3	Demanda Ponta	(1,1,1)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1)$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1)$
	Custo Projeto		(1,1,1)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1)$
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 4	Demanda Ponta	(1,1,1)	(2,3,4)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$
	Custo Projeto		(1,1,1)	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 5	Demanda Ponta	(1,1,1)	(5,6,7)	(3,4,5)
	Custo Projeto		(1,1,1)	(3,4,5)
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 6	Demanda Ponta	(1,1,1)	(6,7,8)	(1,1,1)
	Custo Projeto		(1,1,1)	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 7	Demanda Ponta	(1,1,1)	(3,4,5)	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$
	Custo Projeto		(1,1,1)	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 8	Demanda Ponta	(1,1,1)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1)$	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1)$
	Custo Projeto		(1,1,1)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1)$
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 9	Demanda Ponta	(1,1,1)	(2,3,4)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$
	Custo Projeto		(1,1,1)	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$
	Energia Economizada			(1,1,1)
Especialista 10	Demanda Ponta	(1,1,1)	(5,6,7)	(3,4,5)
	Custo Projeto		(1,1,1)	(3,4,5)
	Energia Economizada			(1,1,1)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 5, é apresentada a média geométrica da matriz de julgamento *Fuzzy AHP* dos critérios pelos especialistas que fizeram parte do estudo.

**Tabela 5.**

*Matriz de julgamento Fuzzy AHP dos especialistas*

	<b>Demanda Ponta</b>	<b>Custo Projeto</b>	<b>Energia Economizada</b>
Demanda Ponta	(1,1,1)	$\left(1\frac{2}{3}, 2\frac{1}{6}, 2\frac{4}{5}\right)$	$\left(\frac{3}{5}, \frac{7}{9}, 1\right)$
Custo Projeto	$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{3}{5}\right)$	(1,1,1)	$\left(\frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{3}{4}\right)$
Energia Economizada	$\left(1, 1\frac{2}{7}, 1\frac{2}{3}\right)$	$\left(1\frac{1}{3}, 1\frac{5}{7}, 2\frac{1}{9}\right)$	(1,1,1)

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

#### 4.3 Consistência dos julgamentos dos especialistas

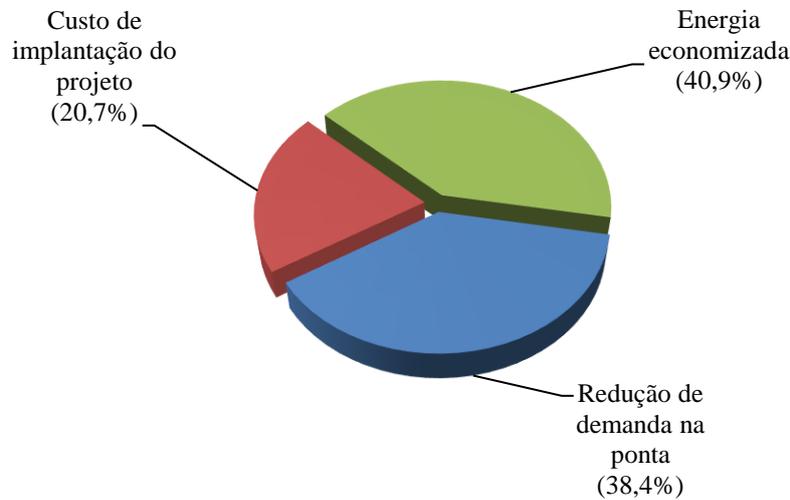
A verificação da consistência final dos julgamentos foi realizada de acordo com o modelo do estudo, obtendo-se a Taxa de Consistência (CR) de 0,06. Esse resultado atende à condição proposta por Saaty (1980), conferindo validade aos julgamentos obtidos dos especialistas.

#### 4.4 Vetores de peso de importância dos critérios

A partir dos julgamentos dos especialistas, foram calculados os vetores de peso de importância dos critérios, apresentados na Figura 5.

**Figura 5.**

*Vetores de Peso de Importância dos Critérios Segundo os Especialistas*



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A média geométrica dos julgamentos dos especialistas resultou em vetores de peso de importância médios entre eles. Deste modo, os vetores de peso obtidos foram de 40,9% para a energia economizada, 38,4% para a redução de demanda na ponta e 20,7% para o custo de implantação do projeto.

#### 4.5 Discussão dos resultados

Os resultados obtidos por meio da aplicação do *framework* proposto neste estudo destacam que o critério custo se apresentou com baixa relevância na aprovação de projetos de eficiência energética. Com base nas entrevistas foi possível identificar que o grupo de especialistas, formado por servidores públicos da área de pesquisa e ensino e dos setores de manutenção e execução de obras de IPES, demonstrou atenção voltada aos benefícios que podem ser atingidos por meio da implantação das AEE dos projetos de EE, deixando o critério custo do projeto em um patamar inferior e distante. Esse resultado pode ter explicação no fato de que os investimentos nesses projetos para essas instituições são realizados pelas empresas de distribuição de energia e não requerem maiores esforços por parte da instituição, a não ser pela necessidade de apresentação de um projeto que possa ser aprovado pela ANEEL.

Os resultados de economia de energia e redução da demanda, praticamente, dividem o interesse desses especialistas, que são os indivíduos que compõem os grupos de tomadores de decisões para os investimentos voltados a eficiência energética, a serem realizados nessas

instituições. Uma possível explicação a essa paridade pode ser creditada à inter-relação existente entre a demanda e o consumo de energia.

Os especialistas acadêmicos demonstraram o desprendimento de maior interesse em obter meios de realização de novas pesquisas e obtenção de resultados que possam servir de meio para avançar as fronteiras do conhecimento relativo ao tema. Já os especialistas responsáveis pela manutenção e execução de obras se mostraram interessados em resultados gerenciais, como os benefícios gerados com a diminuição das contas de energia, mas, principalmente, com a evolução profissional a ser adquirida por meio do contato com as novas tecnologias a serem implantadas pelas AEE.

## 5 Considerações finais

O método *MCDM FAHP* se mostrou eficaz para compor a ferramenta desenvolvida para o estudo. O *framework* proposto possibilitou a obtenção dos vetores de peso de importância para os critérios utilizados pela ANEEL para análise dos projetos. A utilização de aspectos qualitativos para compor o processo de avaliação, além dos aspectos quantitativos, já altamente utilizados para a avaliação de portfólio de projetos, possibilitou incorporar a subjetividade humana em definições que poderão ser utilizadas para análises e ranqueamentos, o que difere das avaliações tradicionalmente realizadas.

Os resultados indicaram que os critérios energia economizada e redução de demanda na ponta foram considerados os mais importantes pelos especialistas consultados. Esses dois critérios juntos são responsáveis por quase 4/5 (79,3%) do peso da decisão na seleção de projetos de eficiência energética, no âmbito do Programa de Eficiência Energética - PEE da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Os critérios voltados à medição dos resultados obtidos, energia economizada (40,9%) e redução de demanda na ponta (38,4%), foram identificados como mais relevantes na seleção dos projetos de eficiência energética pelos especialistas, apresentando valores de vetores de peso semelhantes para auxiliar no processo de decisão de escolha no portfólio de projetos. O critério relacionado aos custos para a implantação das AEE não foi tão relevante, representando apenas cerca de 1/5 (20,7%) da decisão total, ou seja, esse critério se mostrou pouco valorizado pelos especialistas na seleção de projetos de eficiência energética.

O estudo é limitado pela sua abrangência, visto ser aplicado somente a projetos de eficiência energética propostos ao PEE ANEEL pelas instituições brasileiras. Este trabalho

trouxe à tona a possibilidade de desenvolvimento de estudos futuros para a realização de novos testes do *framework* proposto em outros grupos de amostras e de especialistas, além da sua aplicação em outros tipos de portfólio de projetos. Os resultados obtidos neste estudo também poderão ser utilizados como dados de entrada na aplicação de outras ferramentas existentes na literatura para a definição de ranqueamentos.

## Referências

- Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2014). *Metodologia de gerenciamento de portfólio*. ABDI. Recuperado de <https://jacksondetoni.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/metodologia-de-gerenciamento-de-portfc3b3lio-07102014-revisc3a3o-final-impresso.pdf>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018). *Procedimento do programa de eficiência energética – PROPEE*. Brasília, DF: ANEEL. Recuperado de <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/procedimentos-ee-ped>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2021). *Programa de Eficiência Energética*. Brasília, DF: ANEEL. Recuperado de <https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2022). *Programa de eficiência energética: Conheça o programa de eficiência energética (PEE) da ANEEL*. Brasília, DF: ANEEL. Recuperado de <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/eficiencia-energetica/pee>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2023a). *Gestão do programa de eficiência energética*. Brasília, DF: ANEEL. Recuperado de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGI1OGYwOTgtZWQ5YS00Y2I4LTlkOTUtNjI4MDE1Yjk4MjE1IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2023b). *Gestão do programa de eficiência energética: Relatório de energia economizada*. Brasília, DF: ANEEL. Recuperado de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGI1OGYwOTgtZWQ5YS00Y2I4LTlkOTUtNjI4MDE1Yjk4MjE1IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>
- Calabrese, A., Costa, R., Levialdi, N., & Menichini, T. (2016). A fuzzy analytic hierarchy process method to support materiality assessment in sustainability reporting. *Journal of Cleaner Production*, 121, 248-264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.005>
- Camargo, L. A. S., Leonel, L. D., Ramos, D. S., & Stucchi, A. G. D. (2020, September). A risk averse stochastic optimization model for wind power plants portfolio selection. In *2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SEST48500.2020.9203149>

- Castro, H. G. D., & Carvalho, M. M. D. (2010). Gerenciamento do portfólio de projetos: um estudo exploratório. *Gestão & Produção*, 17, 283-296. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000200006>
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (1997). Portfolio management in new product development: Lessons from the leaders—I. *Research-Technology Management*, 40(5), 16-28. <https://doi.org/10.1080/08956308.1997.11671152>
- Cornelis, M. (2020). Energy efficiency, the overlooked climate emergency solution. *Экономическая политика*, 15(2), 48-67. Recuperado de <https://cyberleninka.ru/article/n/energy-efficiency-the-overlooked-climate-emergency-solution/viewer>
- Da Silva, E. P., Neto, A. M., Ferreira, P. F. P., Camargo, J. C., Apolinário, F. R., & Pinto, C. S. (2005). Analysis of hydrogen production from combined photovoltaics, wind energy and secondary hydroelectricity supply in Brazil. *Solar Energy*, 78(5), 670-677. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.10.011>
- Efficiency Valuation Organization. (2012). *Protocolo internacional de medição e verificação de performance: Conceitos e opções para determinação de economias de energia e de água* – vol. 1 – EVO 10000 – 1:2012 (Br). Tradução: Fernando C. S. Milanez. Sofia: EVO, 2012. Recuperado de [http://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP\\_2012-PTBR.pdf](http://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP_2012-PTBR.pdf)
- Ekel, P. Y., Lisboa, A. C., Pereira Jr, J. G., Vieira, D. A. G., Silva, L. M. L., & D'Angelo, M. F. S. V. (2019). Two-stage multicriteria georeferenced express analysis of new electric transmission line projects. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 108, 415-431. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.01.008>
- Eletrobras – Centrais Elétricas Brasileiras. (2022). *Relatório de resultados do Procel 2022*. Rio de Janeiro, RJ: PROCEL. Recuperado de <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Relatorio-Anual.aspx>
- Emrouznejad, A., & Ho, W. (2017). *Fuzzy analytic hierarchy process*. CRC Press.
- Emrouznejad, A., & Marra, M. (2017). The state of the art development of AHP (1979–2017): A literature review with a social network analysis. *International journal of production research*, 55(22), 6653-6675. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1334976>
- Faria, A., Alvarenga, B., Lemos, G., Viajante, G., Domingos, J. L., & Marra, E. (2022). Energy Efficiency and Distributed Generation: A Case Study Applied in Public Institutions of Higher Education. *Energies*, 15(3), 1217. <https://doi.org/10.3390/en15031217>
- Freire, L., Street, A., Lima, D. A., & Barroso, L. A. (2015). A hybrid MILP and benders decomposition approach to find the nucleolus quota allocation for a renewable energy

- portfolio. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(6), 3265-3275.  
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2014.2374532>
- French, S. (2023). Reflections on 50 years of MCDM: Issues and future research needs. *EURO Journal on Decision Processes*, 11, 100030.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejdp.2023.100030>
- Gehrke, P., Goretti, A. A. T., & Avila, L. V. (2022). Impacts of the energy matrix on Brazilian sustainable development. *Revista de Administração da UFSM*, 14, 1032-1049. <https://doi.org/10.5902/1983465964409>
- Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G., Carignano, C. (2011). *Tomada de decisões em cenários complexos: Introdução aos métodos do apoio multicritério às decisões*. São Paulo, SP: Cengage Learning.
- Gonçalves dos Santos, J., Gomes de Souza, C., & de Carvalho Castro, A. (2014). Evaluating R&D Program of the Brazilian Electricity Sector through Industrial Property Indicators. *Journal of technology management & innovation*, 9(3), 83-90.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242014000300006>
- González, A. B. R., Díaz, J. J. V., Caamano, A. J., & Wilby, M. R. (2011). Towards a universal energy efficiency index for buildings. *Energy and buildings*, 43(4), 980-987.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.023>
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (2021). *Conheça o programa: Conheça o programa brasileiro de etiquetagem – PBE*. INMETRO. Recuperado de <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>
- International Energy Agency. (2021). *Atlas of Energy*. Recuperado de <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123>
- Jain, S. K., Agrawal, G. D., Gupta, K., & Misra, R. (2022). Optimisation of performance parameters of stationary VCR diesel engine using hybrid FTOPSIS-FAHP approach. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 1518-1527.  
<https://doi.org/10.1080/01430750.2020.1712246>
- Jaiswal, R. K., Ghosh, N. C., Lohani, A. K., & Thomas, T. (2015). Fuzzy AHP based multi criteria decision support for watershed prioritization. *Water Resources Management*, 29, 4205-4227. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1054-3>
- Jannuzzi, G. D. M., & Santos, H. T. M. (2005). Análise dos investimentos do Programa de Eficiência Energética das concessionárias de distribuição de eletricidade. *Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/267384343>
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for

supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner production*, 47, 355-367. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.010>

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Haberl, H., & Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological economics*, 68(10), 2696-2705. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>

Lei n. 9.991, de 24 de julho de 2000. (2000). Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF. Recuperado de [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19991.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm)

Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001. (2001). Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF. Recuperado de [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110295.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm)

Maier, S., Street, A., & McKinnon, K. (2016). Risk-averse portfolio selection of renewable electricity generator investments in Brazil: An optimised multi-market commercialization strategy. *Energy*, 115, 1331-1343. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.064>

Manirambona, E., Talai, S. M., & Kimutai, S. K. (2022). A review of sustainable planning of Burundian energy sector in East Africa. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100927. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100927>

Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A., Nor, K. M., & Khoshnoudi, M. (2016). Using fuzzy multiple criteria decision making approaches for evaluating energy saving technologies and solutions in five star hotels: A new hierarchical framework. *Energy*, 117, 131-148. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.076>

Ministério de Minas e Energia. (2011). *Plano nacional de eficiência energética: Premissas e diretrizes básicas*. Brasília, DF: MME. Recuperado de <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/914>

Ministério de Minas e Energia. (2020). *Anuário estatístico de energia elétrica 2020: Ano base 2019*. Rio de Janeiro, RJ: EPE. Recuperado de <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>

Mira, C., Feijão, P., Souza, M. A., Moura, A., Meidanis, J., Lima, G., ... & Freitas, I. T. (2012, December). A GRASP-based heuristic for the Project Portfolio Selection Problem. In *2012 IEEE 15th International Conference on Computational Science and Engineering* (pp. 36-41). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2012.102>

Mira, C., Feijao, P., Souza, M. A., Moura, A., Meidanis, J., Lima, G., ... & Freitas, Í. T. (2013, July). A project portfolio selection decision support system. In *2013 10th*

- International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 725-730). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2013.6602536>
- Neves, C. E. B., & Martins, C. B. (2016). *Ensino superior no Brasil: uma visão abrangente*. IPEA. Recuperado de <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9061>
- Oliveira, T. C. (2021). *Guia referencial para gerenciamento de projetos e portfólios de projetos*. Brasília, DF: ENAP. Recuperado de <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/6155>
- Onar, S. Ç., Büyüközkan, G., Öztayşi, B., & Kahraman, C. (2016). A new hesitant fuzzy QFD approach: an application to computer workstation selection. *Applied Soft Computing*, 46, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.04.023>
- Özcan, E., Danişan, T., Yumuşak, R., & Eren, T. (2020). An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants. *Eksploatacja i Niezawodność*, 22(3). <https://doi.org/10.17531/ein.2020.3.3>
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy policy*, 24(5), 377-390. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)
- Paul, S. K. (2015). Supplier selection for managing supply risks in supply chain: a fuzzy approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79, 657-664. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-6867-y>
- Project Management Institute. (2017). *The standard for portfolio management*. Newtown Square, PA: PMI.
- Project Management Institute. (2021). *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK, 7ª. Edição)*. Newtown Square, PA: PMI.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Network Process*. New York: MacGraw Hill.
- Santin, L.C.B., Pacheco, B.C.S., Nagano, M.S. (2023). Utilização do método AHP em projeto para seleção de uma agência de marketing em uma empresa B2B. *Revista De Gestão E Projetos*, 14(2), 174–195. <https://doi.org/10.5585/gep.v14i2.23854>
- Shafiee, M. (2022). Wind Energy Development Site Selection Using an Integrated Fuzzy ANP-TOPSIS Decision Model. *Energies*, 15(12), 4289. <https://doi.org/10.3390/en15124289>
- Sharma, P., Alshehri, M., & Sharma, R. (2023). Activities tracking by smartphone and smartwatch biometric sensors using fuzzy set theory. *Multimedia Tools and Applications*, 82(2), 2277-2302. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13290-4>
- Solangi, Y. A., Tan, Q., Khan, M. W. A., Mirjat, N. H., & Ahmed, I. (2018). The selection of wind power project location in the Southeastern Corridor of Pakistan: A factor

- analysis, AHP, and fuzzy-TOPSIS application. *Energies*, 11(8), 1940. <https://doi.org/10.3390/en11081940>
- Taylan, O., Alamoudi, R., Kabli, M., AlJifri, A., Ramzi, F., & Herrera-Viedma, E. (2020). Assessment of energy systems using extended fuzzy AHP, fuzzy VIKOR, and TOPSIS approaches to manage non-cooperative opinions. *Sustainability*, 12(7), 2745. <https://doi.org/10.3390/su12072745>
- Teixeira, S. C. A., Pedron, C. B. (2023). O que se espera de novos artefatos voltados para gestão de portfólio de projetos?. *Revista de Gestão e Projetos*, 14(2), 55–75. <https://doi.org/10.5585/gep.v14i2.23869>
- Umer, R., Touqeer, M., Omar, A. H., Ahmadian, A., Salahshour, S., & Ferrara, M. (2021). Selection of solar tracking system using extended TOPSIS technique with interval type-2 pythagorean fuzzy numbers. *Optimization and Engineering*, 22, 2205-2231. <https://doi.org/10.1007/s11081-021-09623-1>
- Vieira, N. D. B., dos Santos, R. E. R., Silveira, J. M., & Haddad, J. (2016). Avaliação da performance dos indicadores energéticos do programa de eficiência energética (PEE) da ANEEL. In *Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. ENERGIA, OEDD Gramado-RS*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/308773702>
- Wang, C. N., Nguyen, V. T., Thai, H. T. N., & Duong, D. H. (2018). Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Viet Nam. *Energies*, 11(6), 1504. <https://doi.org/10.3390/en11061504>
- Wysocki, R. K. (2019). *Effective project management: traditional, agile, extreme*. John Wiley & Sons.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zopounidis, C. (1999). Multicriteria decision aid in financial management. *European Journal of Operational Research*, 119(2), 404-415. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00142-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00142-3)