

ORDENAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS POR MEIO DO MODELO ANALÍTICO HÍBRIDO MERECS-SPOTIS

Célio Manso de Azevêdo Junior
cmajunior@id.uff.br
UFF

Marcos dos Santos
marcosdossantos@ime.eb.br
IME

Carlos Francisco Simões Gomes
cfsg1@bol.com.br
UFF

Thiago Marques Teixeira de Oliveira
profestathimarques@gmail.com
ENCE

Rodrigo Gonçalves Pinto
rodrigouz@gmail.com
IESB

Resumo: Na busca por fontes de energias renováveis em substituição às energias oriundas de combustíveis fósseis, a energia solar vem obtendo destaque no cenário mundial. Aliado a isso, os preços cada vez mais baixos dos painéis solares tornam a energia solar mais competitiva, aumentando, assim, o interesse pela instalação de sistemas fotovoltaicos em empresas e residências. Este estudo tem como propósito ordenar alternativas, marcas, de painéis fotovoltaicos e, para alcançar este objetivo, lançou-se mão do método Method Removal Effects os Criteria (MERECS) combinado com o método Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution (SPOTIS); dois métodos Multi Criteria Decision Making (MCDM) recentemente desenvolvidos, que podem ser aplicados em sistemas de apoio à decisão para avaliar painéis solares para sistemas fotovoltaicos. Os seguintes critérios foram utilizados durante a aplicação dos métodos: Potência (W), Preço (R\$), Peso (Kg), Temperatura de Trabalho (°C) e Garantia (anos). Como resultado, o método SPOTIS, por meio dos pesos gerados pelo método MERECS, ordenou as alternativas (marcas) na seguinte ordem: 1° - Shinefar; 2° - JA Solar; 3° - Canadian Solar; e 4° - Amerisolar. Este artigo contribuiu para a sociedade e com a pesquisa científica na área da Pesquisa Operacional, dado que a metodologia aplicada é adaptável a contextos comerciais, industriais etc.

**Palavras Chave: Energia Solar - Transição Energética - Energia Renovável - Gases Efeito Estufa
- Livre de Reversão**

1. INTRODUÇÃO

Aumentar o uso de fontes renováveis de energia está se tornando uma necessidade, tendo em vista a emissão de gases causadores do efeito estufa devido ao crescimento industrial. A energia fotovoltaica pode atuar como uma alternativa ecológica à mistura de combustíveis fósseis. O principal componente de um sistema fotovoltaico é o painel solar. Os painéis solares consistem em módulos fotovoltaicos que criam a matriz fotovoltaica do sistema, que gera e fornece eletricidade a partir da luz solar.

O preço do painel solar depende de muitos fatores como tamanho, marca, durabilidade e eficiência, por exemplo. De acordo com Gnanasekaran *et al.* (2019), a presença de muitos atributos de painéis solares torna sua seleção para um sistema fotovoltaico um complexo problema de decisão multicritério. Uma das decisões mais importantes ao projetar um sistema fotovoltaico é selecionar o painel solar mais adequado.

Conforme indica Gomes *et al.* (2020) “dentro desta grande área da Engenharia, a Pesquisa Operacional (PO) é o campo abrangente e multidisciplinar que emprega modelos matemáticos e analíticos para a solução de problemas complexos do cotidiano.”

Devido à crescente popularidade da tecnologia fotovoltaica, cada vez mais produtores oferecem painéis solares com diferentes parâmetros, o que causa dificuldade na escolha do tipo mais adequado. O objetivo deste artigo é propor um sistema de apoio à decisão para a avaliação de painéis solares utilizados em instalações fotovoltaicas.

De acordo com Santos *et al.* (2021), os métodos de Apoio Multicritério a Decisão (AMD) buscam apoiar o tomador de decisão na escolha da alternativa mais preferível entre as várias possíveis, considerando os critérios que caracterizam essa preferência.

A relevância da pesquisa realizada repousa na apresentação de uma abordagem inovadora baseada em dois métodos MCDM recentemente desenvolvidos, MEREC combinado com SPOTIS, que podem ser aplicados em sistemas de apoio à decisão na escolha de painéis solares para sistemas fotovoltaicos.

Esta pesquisa visa responder à seguinte questão norteadora: Estabelecido os critérios e alternativas pelos especialistas, utilizando-se da combinação dos métodos MEREC e SPOTIS, qual é a melhor alternativa de painel solar para composição de um sistema fotovoltaico?

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O acesso às tecnologias fotovoltaicas tem sido uma realidade para diversas camadas da sociedade. Para atender às mais variadas demandas, cada vez mais fornecedores oferecem painéis solares das mais diferentes marcas e parâmetros, o que causa dificuldade na escolha da marca que melhor atenda às necessidades dos clientes.

A escolha de um painel solar depende de muitos fatores como tamanho, marca, durabilidade, potência e eficiência, por exemplo. A presença de muitos atributos de painéis solares torna sua seleção para um sistema fotovoltaico um complexo problema de decisão multicritério. Uma das decisões mais importantes ao projetar um sistema fotovoltaico é selecionar o painel solar mais adequado.

Hermógenes *et al.* (2020) indicam que “atualmente, faz-se necessário ter domínio de ferramentas que deixem a rotina da sociedade e das organizações mais flexíveis, que contribuam para o aumento da produtividade e que facilitem a mobilidade em geral”.

Torna-se um desafio, portanto, propor um sistema de apoio à decisão para a avaliação de painéis solares para serem utilizados em sistemas solares geradores de energia. Diante desses desafios e oportunidades, o desenvolvimento de um *framework* se faz necessário para a seleção de painéis solares mais adequados possíveis para construção de sistemas de geração de energia elétrica que utiliza a luz solar.

Os métodos MCDM possibilitam uma análise comparativa das alternativas avaliadas segundo os critérios quantitativos e qualitativos considerados pelos especialistas. Nesse

contexto, a abordagem multicritério proporcionada pelo método MEREC-SPOTIS viabiliza uma ferramenta eficaz para auxiliar os *Decision Makers* na escolha do painel fotovoltaico mais adequado às suas necessidades específicas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura desta pesquisa foi realizada a partir dos artigos científicos da base Scopus, com os seguintes termos para busca: “(TITLE (“MEREC” AND “SPOTIS”))”. Nessa primeira busca, nenhum material foi encontrado, o que pode ser um indicativo de que não há trabalhos na literatura que combinem esses dois métodos.

Numa segunda busca, foi utilizada a string “(TITLE (“MEREC” AND “SOLAR”))” e, em tal busca, foram encontrados dois artigos: MEREC combinado com o método Combined Compromise Solution (CoCoSo) e, MEREC combinado com o método *Multi Objective Optimization by a Ratio Analysis plus the Full Multiplicative Form* (MULTIMOORA).

Wan *et al.* (2023) propuseram a criação de uma metodologia integrada de tomada de decisão para escolha de uma estação de energia solar ideal por meio da hibridização dos métodos MEREC e CoCoSo.

Para Narayanamoorthy *et al.* (2022), os pesos oriundos do MEREC foram combinados com o método de classificação MULTIMOORA para escolha de local para construção de uma usina de energia solar fotovoltaica, mediante os critérios estabelecidos.

Ainda na base Scopus, uma terceira busca foi realizada. Desta vez, as palavras foram “(TITLE (“SPOTIS” AND “SOLAR”))” e apenas um artigo foi encontrado.

Neste artigo, Bączkiewicz *et al.* (2021) utilizaram o método SPOTIS de forma híbrida com os métodos Characteristic Objects Method (COMET) e The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Essa combinação de métodos abordou a escolha de painéis solares para composição de um sistema de geração de energia fotovoltaica.

Por fim, realizou-se uma última busca com a finalidade de descobrir as incidências do uso dos métodos MEREC e SPOTIS no Brasil. As duas *strings* foram digitadas, separadamente na base Scopus: “(TITLE (“MEREC”))” e “(TITLE (“SPOTIS”))”. Foram encontrados dois artigos: um referente ao método MEREC e outro referente ao método SPOTIS. No entanto, nenhum dos artigos encontrados propôs uma aplicação prática dos métodos. Tal fato corrobora o ineditismo deste trabalho e abre oportunidades de novas pesquisas com o intuito de trazer maiores contribuições no cenário acadêmico, industrial e empresarial.

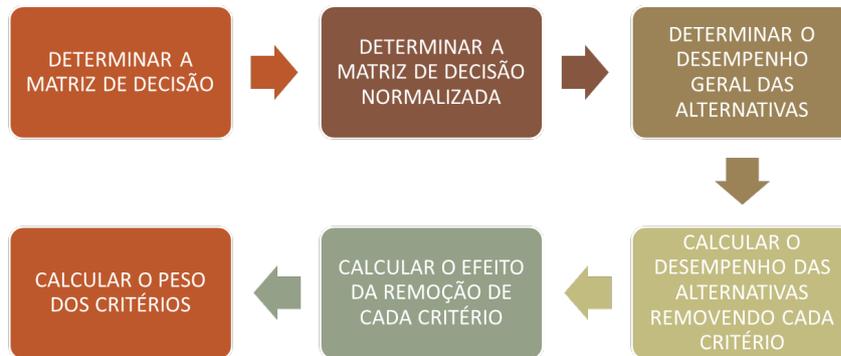
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 O método MEREC

O MEREC proposto por Keshavarz-Ghorabae *et al.* (2021) é um método de ponderação objetiva e baseado no efeito de remoção dos critérios para determinar o peso dos critérios em um problema Multicritério de Apoio à Decisão (MCDM). Segundo os autores, maiores pesos são atribuídos aos critérios que possuem efeitos mais elevados sobre as performances e deve-se definir, primeiramente, uma medida para o desempenho das alternativas. Uma medida logarítmica simples é utilizada com pesos iguais para calcular o desempenho das alternativas. A fim de identificar o efeito de remoção para cada critério, é utilizada a medida de desvio absoluto.

O método MEREC, de acordo com a pesquisa na base Scopus com a *string* “MEREC”, com filtro para “article”, no período entre janeiro de 2022 e julho 2023, incorreu em cinquenta e sete publicações, dos quais, vinte e oito apenas nos seis primeiros meses deste ano, demonstrando assim, um considerável crescimento na aplicação deste método.

Figura 1: Seis passos do Método MEREC



Fonte: Autores (2023)

PASSO 1: Determinar a Matriz de Decisão.

No primeiro passo, uma matriz de decisão é construída mostrando os valores de cada alternativa em relação à cada critério, onde “n” representa as alternativas e “m” os critérios.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

PASSO 2: Determinar a Matriz de Decisão Normalizada.

No segundo passo, uma normalização linear simples é usada para normalizar os elementos da matriz de decisão, onde *B* representa os critérios monotônicos de lucro e *H* os critérios monotônicos de custo.

$$n_{ij}^* = \begin{cases} \frac{\min_k x_{kj}}{\max_k x_{kj}} & \text{Se } j \in B; \text{ Se } j \in H \\ \frac{x_{ij}}{\max_k x_{kj}} & \text{Se } j \in H \end{cases}$$

PASSO 3: Determinar o desempenho geral das alternativas.

Neste passo, uma medida logarítmica com pesos iguais para os critérios é aplicada para obter o desempenho geral das alternativas, conforme segue.

$$s_i = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_j |\ln(x_{ij}^*)| \right) \right)$$

PASSO 4: Calcular o desempenho das alternativas removendo cada critério.

Já neste passo, usamos a medida logarítmica de maneira similar à etapa 3. A diferença entre a etapa 4 e a etapa 3 é que o desempenho das alternativas é calculado com base na remoção de cada critério separadamente, por meio da expressão a seguir.

$$s'_{ij} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_{k, k \neq j} |\ln(n_{ik}^*)| \right) \right)$$

PASSO 5: Calcular o efeito da remoção de cada critério.

No quinto passo, calcula-se o efeito da remoção do critério j -ésimo baseado nos valores obtidos nos passos 3 e 4.

$$E_j = \sum_i |s'_j - s_i|$$

PASSO 6: Calcular o peso dos critérios.

Finalmente, o peso de cada critério é calculado utilizando os efeitos de remoção (E_j) do passo 5. O w_j representa o peso do j -ésimo critério.

$$w_j = \frac{E_j}{E_x E_x}$$

4.2 O método SPOTIS

O *Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution* (SPOTIS) proposto por Dezert *et al.* (2020) é um Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDM). Alguns métodos multicritério, como o AHP, AHP-Gaussiano, TOPIS e ELECTRE, possuem uma mudança na classificação ou na ordem de preferência das alternativas, caso seja alterada a estrutura do problema MCDM, ou seja, adicionando ou eliminando alguma alternativa. Pensando nisso, segundo os autores Dezert *et al.* (2020) foi proposto o método SPOTIS, método livre de reversão de classificação, que considera os critérios independentes um do outro para que nenhuma informação redundante seja utilizada no problema Multicritério de Apoio à Decisão (MCDM), a fim de evitar viés no resultado.

O método é baseado na medição de distância e requer a especificação de limites de dados para determinar o Ponto de Solução Ideal (Ideal Solution Point – ISP), a partir dos limites dos valores de pontuação dos critérios, consoante à ordem de preferência relacionada a cada critério.

Figura 2: Cinco passos do Método SPOTIS



Fonte: Autores (2023)

PASSO 1: No primeiro passo do método é necessário definir os limites mínimos e máximos do problema de MCDM.

$$s_i^{Min}, s_j^{Max}$$

PASSO 2: O segundo passo do método é definir o ponto de Solução Ideal (ISP) de cada critério.

$$(s_1^*, s_2^*, s_3^*) = s_1^{Max}, s_2^{Max}, s_3^{Max}$$

PASSO 3: O terceiro passo do método é calcular a matriz distância normalizada.

$$\check{d}_{ij}(A_i, S_j^*) = |s_{ij} - s_j^*|$$

$$d_{ij}(A_i, S_j^*) = \frac{d_{ij}(A_i, S_j^*) - d_j^{\min}}{d_j^{\max} - d_j^{\min}}$$

PASSO 4: O quarto passo do método é calcular a matriz distância média normalizada.

$$\tilde{d}(A_i, S^*) = \sum_{j=1}^N w_j \check{d}_{ij}(A_i, S_j^*)$$

PASSO 5: Finalmente, o quinto passo do método é classificar as alternativas.

$$d(A_1, S^*) < d(A_3, S^*) < d(A_2, S^*) < d(A_4, S^*)$$

5. METODOLOGIA

CrITÉRIOS relevantes foram identificados a partir em uma revisão da literatura e em consulta a três especialistas em sistemas de geração de energia solar por meio de painéis fotovoltaicos.

5.1. Estabelecimento dos critérios

- **Potência:** determina a quantidade máxima de energia que ela consegue gerar em condições climáticas favoráveis. Este critério foi considerado neste *dataset* como Monotônico de Lucro, ou seja, quanto maior melhor. Assim, a potência é um critério monotônico de lucro, ou seja, quanto maior, melhor.
- **Custo:** Indica o preço de aquisição do painel solar, em reais. Está relacionado apenas o equipamento de captação solar, não levando em consideração os demais itens do sistema fotovoltaico. Quanto à monotonicidade, considerado como de custo: quanto menor, melhor.
- **Eficiência:** A eficiência de um painel solar representa o seu potencial de conversão da luz solar em energia elétrica por metro quadrado. Um painel solar com eficiência de 16,5%/m² significa que, do total de luz captado pelo módulo, 16,5% será a geração de eletricidade para o consumo. Portanto, quanto maior a eficiência de um painel solar maior será a quantidade de energia elétrica produzida por m² com a mesma quantidade de luz incidente e portanto, considerado um critério monotônico de lucro.
- **Peso:** Aqui, envolvem diversas questões como tipo de material da placa, potência, objetivo etc. No entanto, por considerar que os painéis são instalados sempre em locais altos (telhados, estrutura metálicas etc.) e que em última análise envolvem recursos humanos para instalação e manutenção, foi considerado este critério como monotônico de custo: quanto menor melhor.
- **Garantia:** Por mais que, como foi visto neste artigo, os valores dos painéis solares estejam ficando cada vez mais acessíveis, o valor ainda é considerado um investimento e como tal, espera-se um retorno. Nesse sentido, quanto maior o tempo de garantia, melhor; sendo considerado assim, monotônico de lucro. Há de se observar ainda que, os painéis perdem eficiência ao longo dos anos.

5.2. Estabelecimento das alternativas

A alternativas foram escolhidas por meio de buscas na internet nos principais fornecedores de painéis solares do Brasil sendo assim elencados quatro marcas, quais sejam:

Candian Solar, Shinefar, Amerisolar e JA Solar. Inicialmente, as informações da matriz de decisão foram obtidas por meio de pesquisas em sites especializados de revendedores de painéis solares.

Por fim, após realizar o mapeamento da literatura, foram definidos os métodos MEREC e SPOTIS para a resolução desse problema.

O artigo seminal do método MEREC foi proposto por Keshavarz-Ghorabae *et al.* (2021). Posteriormente, Bahabadi (2023) desenvolveu uma ferramenta computacional utilizando o mesmo dataset do artigo seminal, chegando aos mesmos resultados. Tal ferramenta computacional foi utilizada no desenvolvimento deste estudo.

O método MEREC é um método objetivo que considera, ao remover um dos critérios, o impacto dessa remoção na ordenação das alternativas, ou seja, o critério que induz maior variância é o mais relevante, portanto, recebe peso maior. Considera-se, ainda, como benefício desse método a sua simples aplicabilidade, pois não requer cálculos complexos e é de fácil execução.

Por outro lado, o método SPOTIS estabelece a ordem de preferência a partir da matriz de pontuação do problema MCDM, não requerendo, assim, comparações relativas entre alternativas, mas, apenas, comparações com relação à solução ideal (ISP) escolhida pelo decisor, ou seja, os limites mínimo e máximo de cada critério envolvido no problema. Mesmo que uma das alternativas seja removida em uma análise de sensibilidade ou, ainda, pela ausência em uma das placas no momento da aquisição, a ordem de classificação permanecerá inalterada, não havendo necessidade de o decisor executar o método novamente inseguro de que poderia ter havido inversão da ordem inicialmente obtida. Esta característica torna o método SPOTIS livre de reversão, motivo pelo qual foi definido.

Os resultados obtidos demonstram que os métodos MEREC e SPOTIS foram eficazes na ponderação e ordenação das alternativas, fornecendo uma abordagem confiável e fundamentada para a tomada de decisão. Com base nesses resultados, levando em consideração os critérios e alternativas elencadas, o decisor, a partir da ordenação, pode fazer a escolha pela placa solar mais adequada às suas necessidades.

6. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

6.1 ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS

Por meio de pesquisas bibliográficas na Base Scopus e entrevista a três especialistas de regiões diferentes do Brasil, foram estabelecidos os critérios e as alternativas descritas nas Tabelas 1 e 2.

Os critérios utilizados para elaboração da pesquisa foram classificados em monotônicos de lucro (S^{max}) e de custo (S^{min}), de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1- Critérios e monotonicidade

C_i	CRITÉRIOS	MONOTONICIDADE
C_1	POTÊNCIA (W)	LUCRO (S^{max})
C_2	PREÇO (R\$)	CUSTO (S^{min})
C_3	PESO (Kg)	CUSTO (S^{min})
C_4	EFICIÊNCIA (%)	LUCRO (S^{max})
C_5	GARANTIA (ANOS)	LUCRO (S^{max})

Fonte: Autores (2023)

Com base nos critérios estabelecidos, foram realizadas pesquisas e identificadas as alternativas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Alternativas das marcas de painéis solares

A_i	MARCA
A ₁	CANADIAN SOLAR
A ₂	SHINEFAR
A ₃	AMERISOLAR
A ₄	JA SOLAR

Fonte: Autores (2023)

Após a definição dos critérios e identificação das alternativas, foi elaborada a Matriz de Decisão

Tabela 3 – Matriz de Decisão

Marca	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
CANADIAN SOLAR	545	1279,31	27,6	21,5	25
SHINEFAR	550	1022,07	31	20,52	25
AMERISOLAR	545	1720,83	29	17,52	30
JA SOLAR	550	1277,04	28,6	20,2	25

Fonte: Autores (2023)

6.2 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

A aplicação da abordagem híbrida MEREK-SPOTIS, seguiu os procedimentos descritos nas Figuras 1 e 2.

O método MEREK foi utilizado para obtenção dos pesos conforme a seguir.

Passo 1: Determinação da matriz de decisão, apresentada na Tabela 3.

Passo 2: Elaboração da matriz de decisão normalizada, conforme apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz de Decisão Normalizada

ALTERNATIVA	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
CANADIAN SOLAR	1,000	0,743	0,890	0,815	1,000
SHINEFAR	0,991	0,594	1,000	0,854	1,000
AMERISOLAR	1,000	1,000	0,935	1,000	0,833
JA SOLAR	0,991	0,742	0,923	0,867	1,000

Fonte: Autores (2023)

Passo 3: Na Tabela 5 está determinado o desempenho geral de cada alternativa.

Tabela 5 – Desempenho geral de cada alternativa (S_i)

ALTERNATIVAS (S _i)	DESEMPENHO (S _i)
S ₁	0,144
S ₂	0,159
S ₃	0,060
S ₄	0,124

Fonte: Autores (2023)

Passo 4: Na Tabela 6, foi elaborada outra matriz com o desempenho das alternativas a partir da remoção de cada critério.

Tabela 6 – Desempenho das alternativas a partir da remoção de cada critério

ALTERNATIVA	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
CANADIAN SOLAR	0,144	0,077	0,118	0,098	0,144
SHINEFAR	0,157	0,041	0,159	0,124	0,159
AMERISOLAR	0,060	0,060	0,045	0,060	0,017
JA SOLAR	0,122	0,056	0,107	0,093	0,124

Fonte: Autores (2023)

Passo 5: Na Tabela 7 foi calculado o efeito da remoção do critério j baseado nos valores obtidos no passo 3 e passo 4.

Tabela 7 – Efeito da remoção de cada critério

ALTERNATIVAS (S _i)	DESEMPENHO (E _j)
E ₁	0,144
E ₂	0,159
E ₃	0,060
E ₄	0,124

Fonte: Autores (2023)

Passo 6: Na Tabela 8, são calculados os pesos de cada critério.

Tabela 8 – Pesos dos critérios

CRITÉRIO (W)	PESO
W ₁	0,0084
W ₂	0,5357
W ₃	0,1258
W ₄	0,2369
W ₅	0,0931

Fonte: Autores (2023)

Para a ordenação das alternativas, o método SPOTIS necessita de que o decisor atribua pesos aos critérios ou, caso exista mais de um decisor, esses pesos precisarão estar consensuados. Neste estudo, porém, os pesos utilizados na aplicação do método SPOTIS foram oriundos dos pesos gerados pelo método MEREC. Para realização dos cálculos, será utilizada a mesma sequência descrita na Figura 2.

Passo 1: Definição dos limites máximo e mínimo de acordo com a monotonicidade de cada critério.

Figura 3 – Limites Máximos e Mínimos

	POTÊNCIA (W)		PREÇO R\$		PESO (kg)		EFICIÊNCIA		GARANTIA (ANOS)	
	S _j ^{min}	S _j ^{max}								
Ponto de Solução Ideal	540	560	1000	1300	25	35	25	15	20	35

Fonte: Autores (2023)

Passo 2: Na Tabela 9 ocorre a definição do Ponto de Solução Ideal (ISP) de cada critério, destacados em azul, em consonância com a monotonicidade descrita na Tabela 1.

Tabela 9 – Ponto de Solução Ideal de cada critério

Critérios	ISP
S ₁	560
S ₂	1000
S ₃	25
S ₄	25
S ₅	35

Fonte: Autores (2023)

Passo 3: A partir dos pesos advindos do método MEREC, constantes na Tabela 8, foi calculada a Matriz Distância Normalizada, Tabela 10.

Tabela 10 – Matriz de Distância Normalizada

Monotonicidade	S^{max}	S^{min}	S^{min}	S^{max}	S^{max}
Alternativas /Critérios	Potência (w)	Preço r\$	Peso (kg)	Eficiência (%)	Garantia (anos)
Pesos MEREC	0,0094	0,6023	0,1391	0,1480	0,1011
Canadian Solar	0,7500	0,9310	0,2600	0,3500	0,6667
Shinefar	0,5000	0,0736	0,6000	0,4480	0,6667
Amerisolar	0,7500	2,4028	0,4000	0,7480	0,3333
JA Solar	0,5000	0,9235	0,3600	0,4800	0,6667

Fonte: Autores (2023)

Passo 4: Abaixo, na Tabela 11, foi calculada a Matriz de Distância Média Normalizada.

Tabela 11 - Matriz de Distância Média Normalizada

	POTÊNCIA (W)	PREÇO R\$	PESO (kg)	EFICIÊNCIA (%)	GARANTIA (ANOS)
PESOS MEREC	0,0099	0,6324	0,1485	0,1039	0,1053
Canadian Solar	0,0071	0,5608	0,0362	0,0518	0,0674
Shinefar	0,0047	0,0443	0,0835	0,0663	0,0674
Amerisolar	0,0071	1,4472	0,0557	0,1107	0,0337
JA Solar	0,0047	0,5562	0,0501	0,0710	0,0674

Fonte: Autores (2023)

Passo 5: Por fim, foi calculada a classificação das alternativas de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 – Classificação das Alternativas

Alternativas	Σ	Ordenação
CANADIAN SOLAR	0,7232	3
SHINEFAR	0,2662	1
AMERISOLAR	1,6543	4
JA SOLAR	0,7495	2

Fonte: Autores (2023)

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O ato de determinar a importância de cada critério, atribuição dos pesos, pode gerar inconsistências aos resultados obtidos pela aplicação de um determinado método. Porém, o efeito de remoção proporcionado pelo método MEREC demonstrou o impacto em cada critério e os pesos, foram obtidos de forma objetiva, sem intervenção direta do decisor.

Já o método SPOTIS é um método estável, ou seja, livre de reversão de ordem, o que significa que a remoção de algumas alternativas não afeta a ordenação das alternativas. Isso ocorre, pois, a partir do momento em que o decisor definir os Pontos de Solução Ótima, ou seja, as distâncias das alternativas dependerão exclusivamente dos pontos máximos e mínimos, não levando em consideração a relação entre as alternativas, por isso a estabilidade e a não reversão de ordem.

Outro fator importante a considerar na análise do resultado da ordenação é que quanto mais próximo de zero for o resultado, melhor será a alternativa. Esse fato acontece porque distância zero equivale a dizer que a alternativa está exatamente no ponto de solução ideal.

Como ponto de maior atenção e aprofundamento à pesquisa, Dezert *et al.* (2021) destacam a “liberdade deixada na escolha dos limites mínimo e máximo dos critérios”. Entendem que, tal liberdade pode comprometer a aplicação do método se, os envolvidos na tomada de decisão não apresentarem “uma boa percepção” das cotas/limites dos critérios escolhidos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro dos critérios estabelecidos e das alternativas disponíveis pela problemática, a questão norteadora da pesquisa foi respondida: o painel fotovoltaico que melhor se adequa ao sistema de geração de energia foi o da marca SHINEFAR. A abordagem híbrida MEREC-SPOTIS apresentou um resultado coerente com a percepção dos tomadores de decisão, considerando o *dataset* analisado.

O objetivo da pesquisa foi alcançado na medida que se chegou a melhor opção de placa fotovoltaica, marca Shinefar, a partir da abordagem híbrida MEREC-SPOTIS. Convém ressaltar que, embora tal metodologia tenha sido aplicada em um contexto específico, ela pode ser replicada em outras situações-problema com as devidas adaptações e novos *datasets*.

Como uma possível contribuição para a Academia, destaca-se a propositura de uma abordagem híbrida denominada MEREC-SPOTIS da qual não se encontrou registros na literatura sobre o tema.

Ainda como sugestão de pesquisas futuras, propõem-se também a criação de uma ferramenta em Python e uma versão Web para que mais *Decision Makers* não familiarizados com o modelo matemático possam ter acesso a esse método de ponderação objetiva com maior facilidade.

9. REFERÊNCIAS

Bączkiewicz, A., Kizielewicz, B., Shekhovtsov, A., Yelmikheiev, M., Kozlov, V., & Sałabun, W. (2021). Comparative analysis of solar panels with determination of local significance levels of criteria using the MCDM methods resistant to the rank reversal phenomenon. *Energies*, 14(18), 5727. <https://doi.org/10.3390/en14185727>



Bahabadi, M. D. (2023). MEREC Software [Data set]. Unpublished. DOI: 10.13140/RG.2.2.34537.36960

Dezert, J.; Tchamova, A.; Han, D.; Tacnet, J.M. (2020). The SPOTIS Rank Reversal Free Method for Multi-Criteria Decision-Making Support (SPOTIS). *2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION)*. DOI: 10.23919/FUSION45008.2020.9190347

Gnanasekaran, S.; Venkatachalam, N. (2019). A review on applications of multi-criteria decision making (MCDM) for solar panel selection. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9(2), 11–20. <https://doi.org/10.24247/ijmperdapr20192>

Gomes, C. F. S.; Santos, M.; Teixeira, F. L. H. S.; Costa, I.P.A.; Maêda, M.S.N. (2020). Apoio humanitário ao combate à pandemia de covid-19: uma abordagem multicritério para escolha de navio da marinha do brasil para atuação como hospital de campanha. *Revista Augustus*, v. 25, n. May, p. 56–78, 2020

Hermogenes, L. R. S.; Nascimento, P. S.; Santos, M.; Teixeira, F. L. H. S. (2020). A importância das Digital Skills em tempos de crise. *Revista Augustus*, v. 25, n. 51, p. 198–218, 2020.

Keshavarz-Ghorabae, M.; Amiri, M.; Zavadskas, E. K.; TURSKIS, Z.; Antucheviciene, J. (2021). Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREC). *Symmetry*, 13, 525. DOI: 10.3390/sym13040525

Narayanamoorthy, S., Parthasarathy, T. N., Pragathi, S., Shanmugam, P., Baleanu, D., Ahmadian, A., & Kang, D. (2022). The novel augmented Fermatean MCDM perspectives for identifying the optimal renewable energy power plant location. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53(102488), 102488. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102488>

Santos, F. B.; Santos, M. (2021). Prioridade Observada a Partir da Presunção de Atitude Gaussiana das Alternativas (PrOPPAGA): Proposta Axiomática e Desenvolvimento de uma Plataforma Computacional para um Novo Método Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão. *Revista SIMEP*, v.1, n. 1.

Wan, G., Rong, Y., & Garg, H. (2023). An efficient spherical fuzzy MEREC–CoCoSo approach based on novel score function and aggregation operators for group decision making. *Granular Computing*. <https://doi.org/10.1007/s41066-023-00381-2>