

Aplicação do método AHP-SMAA para tomada de decisão multicritério sobre a localização de uma usina solar

José Geraldo Vidal Vieira (UFSCar)

André de Moura Oliveira (Poli-USP)

Alan Teixeira dos Santos (Poli-USP)



Este artigo oferece uma aplicação de Análise de Decisão de Múltiplos Critérios (MCDA) baseada em uma combinação do Processo Hierárquico de Análise (AHP) com a Análise de Aceitabilidade Estocástica Multicritério (SMAA) para um caso real, relacionado ao problema de decisão sobre a localização de uma Usina Fotovoltaica entre duas localidades no Brasil. O caso foi tratado por meio de entrevistas com dois profissionais que trabalharam para os dois projetos.. Para este trabalho, eles foram considerados como tomadores de decisão, dado o objetivo de mapear suas preferências em acordo com as diretrizes do AHP. Diferentes preferências de cada entrevistado foram alavancadas em um software SMAA, que é capaz de lidar com essas disparidades. Por fim, os resultados encontrados demonstram que o SMAA é um bom método para lidar com diferenças de preferência dos decisores, sendo útil para simplificar problemas complexos como o deste artigo, uma vez que facilita a identificação dos critérios determinantes para alcançar-se consenso sobre qual é a melhor decisão possível..

Palavras-chave: Energia Solar, Problemas de Localização, MCDA, AHP, SMAA

1. Introdução

A geração de energia fotovoltaica, ou energia solar, vem registrando forte crescimento no Brasil nos últimos anos. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), os leilões de energia fotovoltaica no Brasil registraram em 2013, 2015 e 2019, a quantidade de 109, 649 e 827 projetos, respectivamente. Ademais, de acordo com o portal ABSolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), é previsto um crescimento médio de 104% ao ano, de 2016 até 2024, o que aumentaria a participação da energia solar na matriz energética nacional de 0,03% em 2016, para 3% ao fim de 2024.

Uma das razões da crescente expansão observada e projetada para a energia solar é o apelo mundial por modelos de negócios mais sustentáveis, especialmente àqueles ligados ao setor de geração de energia. No que tange o mercado energético, a energia solar é entendida como uma fonte de energia limpa e que, de acordo com matéria veiculada na revista *Época Negócios* (2019), tais matrizes energéticas devem assumir a liderança com relação às matrizes provenientes de combustíveis fósseis a partir de 2030.

Para os projetos fotovoltaicos inseridos na categoria de minigeração distribuída, que são o objeto de aplicação deste artigo, há desafios específicos que devem ser considerados para decisão sobre investimento e localização para a construção de uma usina fotovoltaica. Alguns deles merecem destaque, como o fator de produção da localização (*yield solar*), aspectos referentes a legislações e questões ambientais, questões regulatórias inerentes a construção e a conexão da usina, acesso à financiamentos, desafios com infraestrutura de rede das concessionárias/distribuidoras locais, bem como desafios no enfrentamento de trâmites burocráticos para a obtenção de Parecer de Acesso para conexão, variações cambiais que prejudicam as margens do projeto, dentre outros.

Neste contexto de relevante complexidade, a metodologia AHP combinada com SMAA é proposta para auxiliar a tomada de decisão sobre a localização de uma usina solar, diante de vários critérios a serem avaliados em duas localidades no Brasil (Marabá/PA e Timon/MA).

Esse trabalho busca endereçar uma lacuna de pesquisa relativa ao setor de energia fotovoltaica brasileiro, que vem crescendo vertiginosamente desde 2013 e que ainda foi pouco explorado pela ótica da análise de decisão. O intuito é buscar representar as reais dificuldades que um investidor, gestor ou tomador de decisão em geral, enfrentaria ao decidir sobre onde investir, construir e operar sua usina solar.

2. Revisão da Literatura

Rediske et al. (2018) argumentam que a definição da localização de usinas de energia solar pode ser entendida como um problema complexo, uma vez que envolve a consideração simultânea de múltiplos aspectos das localidades avaliadas. Em seu artigo, os autores executam uma revisão da literatura buscando os fatores mais recorrentes na avaliação dos possíveis sítios. Entre os critérios mais frequentes estão: uso potencial da terra, cobertura vegetal, distância de centros urbanos, distância de rodovias, distância da rede da concessionária/distribuidora, isto é, do ponto de conexão, potencial de expansão da capacidade, custo do terreno, inclinação do terreno, irradiação solar, temperatura ambiente, *due diligence* com respeito a documentação do terreno, etc. Al Garni e Awasthi, 2018 citam em sua revisão outros critérios além dos mencionados, como: risco político e ambiental, umidade relativa, aceitação do público.

Dada a quantidade e a simultaneidade dos critérios que devem ser considerados, é possível definir o problema de localização de usinas fotovoltaicas como um problema multicritério (Wu et al., 2014), sendo adequado para métodos MCDM (Al Garni e Awasthi, 2018) e recebendo algum nível de atenção da academia ao longo dos últimos anos.

Effat (2013), Tahri et al. (2015), Doljak e Stanojevic, (2017) e Carrión et al. (2008) são alguns dos pesquisadores encontrados que utilizaram o AHP para suportar a tomada de decisão sobre a localização de usinas fotovoltaicas no Egito, Marrocos, Sérvia e Espanha, respectivamente. Outros autores, empregaram hibridizações do AHP, como o Fuzzy AHP (Noorollahi et al., 2016; Suh e Brownson, 2016) e o AHP-TOPSIS, do inglês “Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution” (Sánchez-Lozano et al., 2013; Rediske, 2019). Outros trabalhos aplicam métodos como o DEMATEL - Decision making trial and evaluation laboratory (Sánchez-Lozano et al., 2014) e o ELECTRE - Élimination et Choix Traduisant la Réalité (Chen et al., 2014). Contudo a maioria dos estudos considera somente a abordagem AHP no auxílio à tomada de decisão, sem levar em conta o risco na decisão.

O método AHP foi primeiramente apresentado no trabalho de Saaty (1977). O autor discutiu o método de razões de escalas com intervalo de 1 a 9, utilizando o autovetor principal de uma matriz de comparação entre pares. O objetivo consistiu em utilizar esta metodologia para comparar decisões, sendo que, a abordagem foi estendida para decisões multicritérios.

Harker e Vargas (1990) apresentam críticas a argumentação de Dyer (1990), na qual o autor criticou as bases fundamentais da AHP ao afirmar que seus axiomas eram falhos, e que o ranqueamento produzido era arbitrário. Em contrapartida, Harker e Vargas afirmaram que o trabalho de Dyer seria um mal-entendido acerca da fundamentação teórica da AHP.

Primeiramente, eles esclareceram que as perguntas da AHP entre dos bens “A” e “B” devem seguir os critérios da homogeneidade, isto é, as escalas devem ser homogêneas e que a AHP, não fornece um ponto fixo de referência entre alternativas, ou seja, a primeira alternativa é analisada frente as demais de forma pareada, logo em seguida, a segunda, e assim sucessivamente. Além disso, Harker e Vargas apresentam réplica com relação a crítica de Dyer com respeito a AHP utilizar noções primitivas para avaliar as preferências. Harker e Vargas contra argumentam que a escolha de escalas nestes casos é uma questão de crença e não de verdade, rebatem a adoção de Dyer da teoria da utilidade, afirmando que a noção de probabilidade não estaria tão clara para as pessoas e então, questionam se ela deveria ser adotada para todas as teorias de decisão.

Goodwin e Wright (2004) atribuem grande parte do sucesso do método desenvolvido por Saaty (1977) ao fato de que ele envolve procedimentos matemáticos complexos, e que atualmente, conta com um pacote de software amigável ao usuário, o expert choice. No entanto, apesar de sua popularidade e reconhecida qualidade, o método não está livre de críticas. (Dyer 1990) criticou os axiomas da AHP e entendeu as noções de preferências durante a adoção das escalas utilizadas no método como primitivas, produzindo, segundo o autor, ranqueamento reverso conforme nova opção com certa similaridade fosse inserida durante o processo. Dyer criticou o fato de a AHP não utilizar noções de probabilidade e de utilidade no processo e analisou o método como falho e, em alguma medida, tendencioso e subjetivo.

O AHP está entre os métodos MCDM mais reconhecidos para lidar com problemas multicritério em virtude da facilidade de elencar preferências através de comparações emparelhadas. Entretanto, um dos problemas com o AHP, e com a maioria dos métodos MCDM, é a impossibilidade desses métodos de lidarem com incertezas ou até mesmo omissões nas preferências dos tomadores de decisão, seja por ignorância, ambiguidade ou viés.

A Stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA) é uma família de métodos MCDM capaz de lidar com informações incompletas, imprecisas e incertas das avaliações de pesos e critérios, ou seja, das preferências e dos tomadores de decisão (Pelissari, 2019).

O método foi concebido inicialmente por Lahdelma et al. (1998) para problemas de decisão multicritério em grupo, sendo baseado em uma análise inversa do espaço de valores viáveis dos parâmetros. No final, em vez de resultar em uma classificação, como ocorre com a maioria dos métodos, a SMAA fornece as probabilidades das alternativas obterem certas classificações e as combinações de pesos que maximizam a predileção por dada alternativa. Isso permite com que

os avaliadores entendam quais são as razões por trás de uma maior ou menor predileção das alternativas avaliadas.

A SMAA, mais especificamente a SMAA-2, que é uma evolução também proposta por Lahdelma et al. (2001), fornece três medidas descritivas diferentes que suportam a decisão: o índice de aceitabilidade do ranking, o vetor de pesos central e o fator de confiança são calculados por meio de simulação de Monte Carlo.

O índice de aceitabilidade do ranking indica a probabilidade de que uma dada alternativa obtenha uma certa posição no ranking, enquanto o vetor de pesos central denota o conjunto de pesos que maximizam a preferência por uma dada alternativa, e, o fator de confiança é a probabilidade que uma dada alternativa seja preferida dentre as demais, com as preferências expressas pelo seu vetor central.

Mais recentemente, Dubarch et al. (2014) propuseram uma integração do AHP com SMAA permitindo com que as comparações emparelhadas sejam incertas. Desta forma, os principais benefícios dos dois métodos (i.e., as comparações emparelhadas do AHP e a capacidade de lidar com incertezas da SMAA) podem ser alavancados para otimização da tomada de decisão.

3. Metodologia

Para aplicação do AHP-SMAA como suporte à tomada de decisão, foram definidos os critérios de avaliação baseados na literatura e na experiência de um dos autores deste artigo no mercado de energia solar. Os critérios foram então estruturados hierarquicamente em formato de árvore e, ao final de cada ramo da árvore, foram dispostas as alternativas a saber: as cidades de Marabá, localizada no estado do Pará e a cidade de Timon, localizada no estado do Maranhão.

Em seguida, foram conduzidas as entrevistas de dois profissionais experientes do setor fotovoltaico, que para fins desta pesquisa, serão os decisores do estudo de caso. Os dois decisores foram entrevistados através de um formulário com questões de comparação emparelhada entre critérios e entre alternativas, seguindo a escala (1,3, 5, 7 e 9, em níveis de importância), sendo 1 "igualmente importante" e 9 "extremamente importante", como fora proposto por Saaty (1997).

As respostas foram compiladas e as matrizes de comparação foram devidamente normalizadas, obtendo como resultado os pesos dos critérios e as avaliações das alternativas. Estes últimos passos foram realizados com auxílio de uma planilha.

Por fim, de forma a incorporar as incertezas e para efetiva realização de uma análise de sensibilidade que oriente a tomada de decisão neste estudo de caso, foi utilizado um software

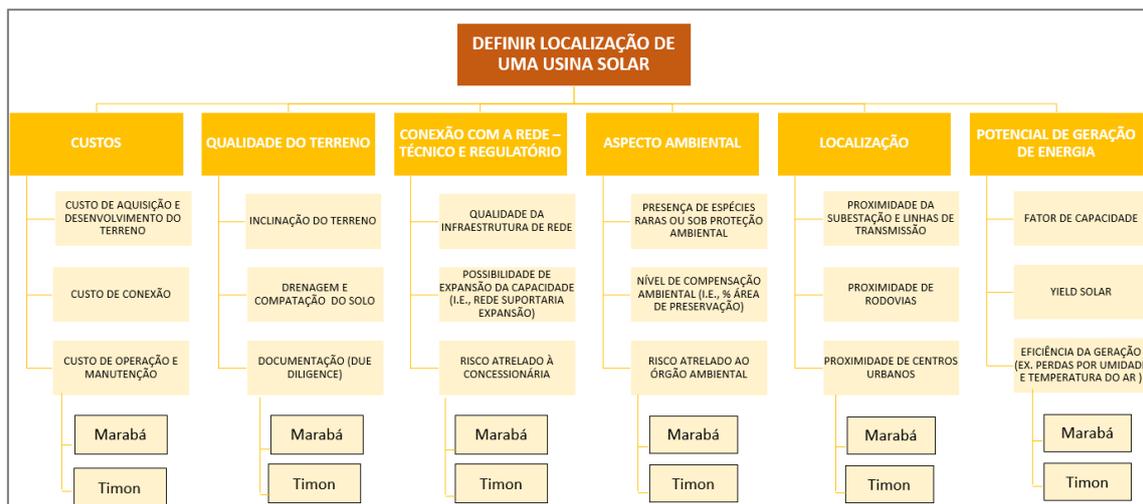
apropriado para aplicação do método SMAA desenvolvido por Tervonen (2014). Nele foram incluídos os valores máximos e mínimos dos pesos e avaliações resultantes do AHP dos dois respondentes, como intervalo para as simulações de Monte Carlo da SMAA.

Na próxima seção são apresentados os dados de entrada, parte dos cálculos realizados, o software utilizado para os cálculos computacionais e o detalhamento da aplicação.

4. Estudo de Caso

Seguindo a metodologia delineada, uma árvore para o AHP foi construída com os atributos representados hierarquicamente, e com as alternativas ao fim de cada ramo da árvore, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura hierárquica dos critérios determinantes para a localização de uma usina solar fotovoltaica.



Fonte: Produção própria.

A seguir são apresentados os perfis dos decisores para este estudo de caso.

Tabela 1 – Perfil dos decisores.

Dados do Perfil	Decisor 1	Decisor 2
Experiência de Mercado	Aproximadamente 14 anos	Mais de 30 anos
Cargo	Coordenador Comercial e Regulatório Comercial e Regulatório para Energia Solar	Diretor de Projeto e de Engenharia Construção, Engenharia e Gerenciamento de Usinas Solares
Expertise		

Fonte: Produção própria.

Em seguida, os decisores responderam as comparações emparelhadas com as preferências entre os critérios e entre as alternativas, utilizando a escala recomendada por Saaty (1997). A tabela 2 abaixo demonstra a importância relativa na visão de um dos decisores.

Tabela 2 - Peso relativo dos critérios após comparação emparelhada de um dos avaliadores.

	CUSTOS	QUALIDADE DO TERRENO	CONEXÃO COM A REDE	ASPECTO AMBIENTAL	LOCALIZAÇÃO	GERAÇÃO DE ENERGIA
CUSTOS	1	0,5	1	1	5	0,17
QUALIDADE DO TERRENO	2	1	5	5	5	0,5
CONEXÃO COM A REDE	1	0,2	1	3	3	0,5
ASPECTO AMBIENTAL	1	0,2	0,33	1	1	0,17
LOCALIZAÇÃO	0,2	0,2	0,33	1	1	0,25
GERAÇÃO DE ENERGIA	6	2	2	6	4	1

Fonte: Produção própria.

Ao observar a Tabela 3, que agrega os resultados das avaliações emparelhadas entre os critérios e entre as alternativas dos dois avaliadores, é possível perceber mais facilmente as discrepâncias entre as preferências de cada decisor, capturadas na variação entre os pesos de cada critério e entre as avaliações de cada uma das localidades, por critério.

Essa variação é positiva, uma vez que a finalidade deste artigo é justamente testar a integração entre AHP e SMAA para problemas de tomada de decisão multicritério em grupo, onde existem níveis de incerteza mais elevados e nos quais é esperado a ocorrência de fenômenos como o identificado neste estudo de caso.

Tabela 3 - Pesos e avaliações resultantes das comparações emparelhadas feitas por cada avaliador.

CRITÉRIOS	Pesos ajustados		Nota Marabá		Nota Timon	
	Avaliador1	Avaliador2	Avaliador1	Avaliador2	Avaliador1	Avaliador2
CUSTO DE AQUISIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TERRENO	8,47%	4,54%	0,20	0,75	0,80	0,25
CUSTO DE CONEXÃO	0,72%	5,39%	0,50	0,88	0,50	0,13
CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	2,21%	1,28%	0,75	0,50	0,25	0,50
INCLINAÇÃO DO TERRENO	5,99%	3,41%	0,33	0,50	0,67	0,50
DRENAGEM E COMPATAÇÃO DO SOLO	20,02%	4,28%	0,33	0,20	0,67	0,80
DOCUMENTAÇÃO (DUE DILIGENCE)	2,39%	5,41%	0,50	0,50	0,50	0,50
QUALIDADE DA INFRAESTRUTURA DE REDE	1,37%	16,45%	0,83	0,50	0,17	0,50
POSSIBILIDADE DE EXPANSÃO DA CAPACIDADE	8,20%	3,53%	0,83	0,50	0,17	0,50
RISCO ATRELADO À CONCESSIONÁRIA	2,73%	15,28%	0,50	0,50	0,50	0,50
PRESENÇA DE ESPÉCIES RARAS OU SOB PROTEÇÃO AMBIENTAL	4,63%	4,28%	0,50	0,50	0,50	0,50
NÍVEL DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL	0,88%	0,86%	0,50	0,50	0,50	0,50
RISCO ATRELADO AO ÓRGÃO AMBIENTAL	0,39%	0,86%	0,50	0,50	0,50	0,50
PROXIMIDADE DA SUBESTAÇÃO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	1,63%	6,66%	0,83	0,83	0,17	0,17
PROXIMIDADE DE RODOVIAS	1,63%	1,58%	0,75	0,83	0,25	0,17
PROXIMIDADE DE CENTROS URBANOS	1,63%	1,87%	0,33	0,83	0,67	0,17
FATOR DE CAPACIDADE	25,30%	8,09%	0,50	0,50	0,50	0,50
YIELD SOLAR	3,82%	8,09%	0,50	0,50	0,50	0,50
EFICIÊNCIA DA GERAÇÃO	8,01%	8,09%	0,50	0,50	0,50	0,50

Fonte: Produção própria.

Antes da aplicação da SMAA, foi realizada uma avaliação das notas e dos pesos decorrentes das avaliações emparelhadas de forma a remover as informações que trariam pouco ou nenhum valor para o problema em questão. Assim, foram removidos os critérios nos quais constatou-se notas iguais para as duas localidades por ambos os avaliadores (como os critérios relacionados aos fatores ambientais e de geração), uma vez que seus impactos na decisão final seriam anulados. Este fato pode ser justificado pelas localidades possuírem latitudes e condições climáticas e ambientais similares havendo, portanto, irradiação solar e vegetação nativa semelhantes, estando sujeitas as mesmas avaliações.

Além disso, outros critérios que tiveram seus pesos ajustados (peso do critério no menor nível hierárquico multiplicado pelo peso do critério no nível hierárquico superior) menor que 3% para ambos os avaliadores também foram removidos da análise. Esse foi o caso dos critérios “Custo de Operação e Manutenção”, “Proximidade de centros urbanos”, e “Proximidade de rodovias”. Tais critérios, apesar de mencionados na literatura como importantes para o problema em questão, tenderiam muito mais a dificultar a interpretação dos resultados do que contribuir na nota final das alternativas. Os critérios removidos estão marcados em negrito na Tabela 3, assim como a razão da exclusão, sejam os pesos ou as avaliações. Os 7 critérios restantes foram normalizados, e seus valores mínimos e máximos segundo as avaliações de cada respondente são demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Pesos mínimo e máximo dos critérios resultantes do processo de higienização.

CRITÉRIOS	MIN.	MAX.
CUSTO DE AQUISIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TERRENO	10,25%	18,25%
CUSTO DE CONEXÃO	1,38%	12,17%
INCLINAÇÃO DO TERRENO	7,70%	11,55%
DRENAGEM E <u>COMPATAÇÃO DO SOLO</u>	9,68%	38,59%
QUALIDADE DA INFRAESTRUTURA DE REDE	2,63%	37,18%
POSSIBILIDADE DE EXPANSÃO DA CAPACIDADE	7,98%	15,81%
PROXIMIDADE DA SUBESTAÇÃO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	3,15%	15,04%

Fonte: Produção própria.

Ao analisar os pesos mínimos e máximos dos critérios na Tabela 4 é possível notar que, grande parte dos critérios apresentam diferenças extremamente elevadas, como é o caso dos critérios “Custo de conexão” e “Qualidade da infraestrutura da rede”, que apresentam variações relativas da ordem de 1000%. Uma hipótese para tal discrepância está no background de cada avaliador,

que apesar de trabalharem no mesmo setor há anos, têm atribuições e experiências diferentes em suas respectivas jornadas profissionais. Enquanto o mais experiente ocupa a posição de gerente de projetos e possui larga vivência em campo, o outro avaliador é coordenador de conexão, e possui atuação mais focada em questões regulatórias e de viabilização da conexão final do ativo. Portanto, suas preocupações e conseqüentemente as suas preferências, tendem a ser distintas.

Cabe reiterar a expectativa de que a SMAA consiga lidar com essas diferenças, tendo em vista a modelagem com probabilidades inerente ao método. Dessa forma, caso não haja possibilidade de obter um resultado definitivo, espera-se que o método possa ao menos fornecer uma base para maior compreensão das notas e discussão dos resultados.

Finalmente, a SMAA é empregada com auxílio do software JSMAA desenvolvido por Tervonen (2014) e disponível na Web, que permite a aplicação intuitiva do método e a visualização dos resultados. Na Figura 2, é possível visualizar as notas máximas e mínimas conferidas à localidade Marabá (PA) pelos decisores para cada um dos critérios, enquanto a Figura 3 exhibe o intervalo de pesos dos critérios, considerando a preferência individual dos entrevistados. Importante mencionar que essas medidas foram obtidas pela aplicação do AHP.

Figura 2 - Avaliação agregada dos entrevistados com relação à localidade Marabá (PA) nos critérios elencados.

Alternative			
Name: Maraba			
Measurements			
Criterion	Measurement		
CUSTO DE AQUISICAO E DESENVOLVIMENTO DO TERRENO	Interval	0.2	0.75
CUSTO DE CONEXAO	Interval	0.5	0.875
INCLINACAO DO TERRENO	Interval	0.3333	0.5
DRENAGEM E COMPATACAO DO SOLO	Interval	0.2	0.33333
QUALIDADE DA INFRAESTRUTURA DE REDE	Interval	0.5	0.833
POSSIBILIDADE DE EXPANSAO DA CAPACIDADE	Interval	0.5	0.833
PROXIMIDADE DA SUBESTACAO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	Exact	0.8333	

Fonte: Produção própria.

Figura 3 - Intervalo de pesos dos critérios considerando as preferências dos entrevistados.

Criterion	Scale	Weight constraint
CUSTO DE AQUISICAO E DESENVOLVIMENTO DO TERRENO	[0,20 - 0,80]	0.1025 - 0.1825
CUSTO DE CONEXAO	[0,12 - 0,88]	0.0138 - 0.1217
INCLINACAO DO TERRENO	[0,33 - 0,67]	0.077 - 0.1155
DRENAGEM E COMPATACAO DO SOLO	[0,20 - 0,80]	0.0968 - 0.3859
QUALIDADE DA INFRAESTRUTURA DE REDE	[0,17 - 0,83]	0.0263 - 0.3718
POSSIBILIDADE DE EXPANSAO DA CAPACIDADE	[0,17 - 0,83]	0.0798 - 0.1581
PROXIMIDADE DA SUBESTACAO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	[0,17 - 0,83]	0.0315 - 0.1504

Fonte: Produção própria.

5. Resultados

Na Figura 4 logo abaixo é demonstrada visualmente a principal medida descritiva da SMA: o índice de aceitabilidade do *ranking*.

Figura 4 - Índice de aceitabilidade do ranking para as duas localidades.



Fonte: Produção própria.

A partir da análise do índice de aceitabilidade de ranking (Figura 4) e do fator de confiança das alternativas (Figura 5), pode ser inferido que as duas localidades têm boas condições de serem escolhidas, havendo uma pequena vantagem para Marabá (PA), que possui um índice de aceitabilidade da 1ª posição e fator de confiança um pouco maior que Timon (MA): 0,61 vs. 0,39 e 0,87 vs. 0,68, respectivamente.

Um dos fatores que pode explicar a similaridade nos fatores de confiança são as restrições relativamente altas para a variação dos pesos na maioria dos critérios, com exceção da “Drenagem e compactação do solo” e “Qualidade de infraestrutura da rede”. Em todo o caso, depreende-se que é crucial analisar o vetor de pesos centrais mostrados na Figura 5 a fim de compreender como as alternativas poderiam tornar-se mais ou menos prediletas.

Figura 5 – Vetor de pesos centrais para as duas localidades



Fonte: Produção própria.

Observando a Figura 5, percebe-se que, no caso de Timon (MA), a “Drenagem e compactação do solo” é o critério que poderia tornar essa alternativa a preferida, enquanto Marabá (PA) destaca-se na “Qualidade de infraestrutura da rede”. Sendo assim, o método se mostra muito útil ao simplificar a abordagem de um problema complexo, identificando quais são os pontos centrais que devem ser atacados a fim de se alcançar um consenso sobre a melhor decisão a ser tomada.

6. Conclusão

Através da aplicação da metodologia AHP combinada com a SMAA, este trabalho apresentou resultados práticos sobre o dilema e desafio muito comum de mercado, que trata da escolha sobre onde investir, construir, conectar e operar uma usina fotovoltaica de até 5 MWac. Tal decisão é sensível a diversas características que podem dificultar uma escolha mais objetiva por parte do investidor ou decisor.

Os resultados demonstraram leve predileção para Marabá (PA). No entanto, uma análise de sensibilidade fornecida pelos métodos dos vetores de pesos centrais, apontou para os critérios sensíveis e de maior pontuação, que desequilibraram um empate técnico entre as duas localidades. Com isto, é possível que uma apresentação sobre os resultados para os tomadores de decisão clarifique sobre os conceitos que pouco contribuíram para análise, mesmo porque estariam poluindo a decisão, o que por consequência, resultaria numa estratégia de gestão mais focada em cima dos critérios direcionadores, quando da busca do terreno / localização, bem como aporte de investimento para o início do projeto.

O estudo de caso proposto teve uma abrangência reduzida quando ao número de entrevistados, o que foi considerado como uma questão limitante do trabalho. Sugere-se para trabalhos futuros uma aplicação similar, porém com um número maior de decisores entrevistados, além de um número maior de critérios de avaliação dos projetos. Dessa maneira, a continuação deste trabalho viabilizaria uma análise também mais qualitativa das perguntas e um maior detalhamento quanto aos critérios da AHP para os projetos a serem comparados.

REFERÊNCIAS

- Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2018). Solar PV power plants site selection: a review. *Advances in renewable energies and power technologies*, 57-75.
- Ari, E. S., & Gencer, C. (2020). The use and comparison of a deterministic, a stochastic, and a hybrid multiple-criteria decision-making method for site selection of wind power plants: An application in Turkey. *Wind Engineering*, 44(1), 60-74.
- Saaty, T. L., (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281.
- Harker, P.,T.; Vargas, L. G.; (1990) Reply to “Remarks on the Analytic Hierarchy Process” by J. S. Dyer, *Management Science*, 36(3), 269–273.
- Dyer, J, S.; (1990). Remarks on the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 36(3), 249-258.
- Carrión, J. A., Estrella, A. E., Dols, F. A., Toro, M. Z., Rodríguez, M., & Ridaio, A. R. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9), 2358-2380.
- Chen, C. R., Huang, C. C., & Tsuei, H. J. (2014). A hybrid MCDM model for improving GIS-based solar farms site selection. *International Journal of Photoenergy*, 2014.
- Doljak, D., & Stanojević, G. (2017). Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. *Energy*, 127, 291-300.
- Durbach, I., Lahdelma, R., & Salminen, P. (2014). The analytic hierarchy process with stochastic judgements. *European Journal of Operational Research*, 238(2), 552-559.
- Dyer, J. S. (1990) Remarks on the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 36, 249–258.
- Effat, H. A. (2013). Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2(1), 205-220.
- <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-457/NT%20EPE-DEE-003-2020-r0.pdf>. Acessado em: 08/07/2021.

Goodwin, P.; Wright, G. *Decision Analysis for Management Judgement.*, (3^a Ed.) John Wiley & Sons Ltd , 2004. Cap 16.

Harker, P. T. and Vargas, L. G. (1990) Reply to ‘Remarks on the Analytic Hierarchy Process’ by J. S. Dyer, *Management Science*, 36, 269–273.

<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/07/ate-2030-fontes-de-energia-limpa-devem-substituir-fosseis.html>. Acessado em: 06/07/2021

<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-a-revolucao-energetica-ja-comecou-no-brasil.html>. Acessado em: 01/07/2021

Kereush, D., & Perovych, I. (2017). Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*.

Lahdelma, R., & Salminen, P. (2001). SMAA-2: Stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making. *Operations research*, 49(3), 444-454.

Lahdelma, R., Hokkanen, J., & Salminen, P. (1998). SMAA-stochastic multiobjective acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 106(1), 137-143.

Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S. H. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)—a case study of Iran. *Energies*, 9(8), 643.

Pelissari, R., Oliveira, M. C., Amor, S. B., Kandakoglu, A., & Helleno, A. L. (2019). SMAA methods and their applications: a literature review and future research directions. *Annals of Operations Research*, 1-61.

Rediske, G., Siluk, J. C. M., Gastaldo, N. G., Rigo, P. D., & Rosa, C. B. (2019). Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review. *International Journal of Energy Research*, 43(5), 1689-1701.

Rediske, G., Siluk, J. C. M., Michels, L., Rigo, P. D., Rosa, C. B., & Cugler, G. (2020). Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil. *Energy*, 197, 117167.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.

Sánchez-Lozano, J. M., Antunes, C. H., García-Cascales, M. S., & Dias, L. C. (2014). GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renewable Energy*, 66, 478-494.

Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24, 544-556.

Suh, J., & Brownson, J. R. (2016). Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of Ulleung Island, Korea. *Energies*, 9(8), 648.

Tahri, M., Hakdaoui, M., & Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354-1362.

Tervonen, T. (2014). JSMAA: open-source software for SMAA computations. *International Journal of Systems Science*, 45(1), 69-81.

Tervonen, T., & Figueira, J. R. (2008). A survey on stochastic multicriteria acceptability analysis methods. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15(1-2), 1-14.

Wu, Y., Geng, S., Zhang, H., & Gao, M. (2014). Decision framework of solar thermal power plant site selection based on linguistic Choquet operator. *Applied energy*, 136, 303-311.