ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise multicritério para escolha de coberturas: revisão de literatura

Multicriteria analysis for choosing roofs: a literature review

Taylana Piccinini Scolaro
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil |
taylana.p.s@posgrad.ufsc.br
Enedir Ghisi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | enedir.ghisi@ufsc.br

Resumo

A tomada de decisão fundamentada em múltiplos critérios tem recebido reconhecimento crescente na seleção de estratégias de construções sustentáveis. Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a escolha de alternativas de cobertura com base em múltiplos critérios. Buscou-se verificar os critérios e as alternativas adotadas, os métodos utilizados para determinar o peso dos critérios e o desempenho das alternativas. De forma geral, os critérios adotados representam as dimensões ambiental, econômica, social e técnica, embora variem entre os estudos. Cerca de 88% dos estudos incluíram as coberturas verdes na análise. Menos da metade dos estudos realizaram simulações computacionais ou procedimentos experimentais para avaliar o desempenho das coberturas em cada critério. Em relação aos métodos de avaliação, aproximadamente 40% dos estudos empregaram a metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) ou alguma de suas variantes, isoladamente ou em conjunto com outro método. Este estudo contribuiu com o entendimento dos métodos escolha de coberturas a partir de uma abordagem holística.

Palavras-chave: Tomada de decisão com múltiplos critérios. Coberturas. Avaliação de desempenho. Critérios de avaliação. Sustentabilidade.

Abstract

Decision-making based on multiple criteria has been increasingly recognised in the selection of sustainable building strategies. This paper aims to conduct a literature review on choosing roof alternatives based on multiple criteria. It sought to verify the criteria and alternatives adopted, the methods used to determine the criteria weight and the performance of the alternatives. The criteria adopted generally represent the environmental, economic, social and technical dimensions, although they vary between studies. Around 88% of the studies included green roofs in the analysis. Less than half of the studies carried out computer simulations or experimental procedures to assess the performance of the roofs in each criterion. Regarding the evaluation methods, approximately 40% of the studies used the Analytic Hierarchy Process (AHP) or one of its variants, either alone or in combination with another method. This study has contributed to the understanding of roofing methods from a holistic approach.

Keywords: Multi-criteria decision-making. Roofs. Performance evaluation. Assessement criteria. Sustainability.

Como citar:
SCALARO, T. P.; GHISI,E. Análise multicritério para escolha de coberturas: revisão de literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

A envoltória é um dos principais fatores que influenciam o consumo energético das edificações, juntamente com clima, sistemas instalados, operação e manutenção, atividades e comportamento dos usuários e qualidade do ambiente interno [1]. Além disso, a envoltória das edificações influencia o equilíbrio térmico urbano, pois absorve a radiação solar e infravermelha e dissipa parte do calor acumulado, contribuindo para o aumento da temperatura ambiente [2]. Nesse sentido, a superfície das coberturas é de suma importância, tendo em vista que corresponde à aproximadamente 20 - 25% das superfícies urbanas [3].

Dessa forma, os materiais utilizados na cobertura das edificações influenciam tanto o consumo de energia (escala de edificação), quanto os efeitos das ilhas de calor (escala urbana). Além disso, a tipologia de cobertura influencia a gestão de águas pluviais (conforme a quantidade e a qualidade da água escoada), contribui com a estética das construções (influenciando o valor agregado das edificações e o bem-estar dos ocupantes, no caso de coberturas acessíveis), dentre outros fatores.

Nesse contexto, estratégias passivas, como coberturas verdes e frias, e estratégias ativas, como a instalação de sistemas fotovoltaicos nas coberturas, têm sido investigadas [4,5]. Entretanto, a escolha de qual cobertura deve ser implementada em um projeto de edificação é complexa, tendo em vista que envolve ampla análise de custo-benefício, além de aspectos ambientais, sociais e técnicos, nem sempre mensuráveis economicamente. O processo de avaliação e seleção do tipo de cobertura verde frente a critérios diversos pode ser auxiliado por meio da tomada de decisão com múltiplos critérios.

Denomina-se processo de tomada de decisão com base em múltiplos critérios (*Multiple Criteria Decision Making*, MCDM), a seleção da alternativa mais adequada considerando diversos critérios relevantes. Os métodos MCDM consistem em três fases principais: (a) identificar os critérios e as alternativas, (b) estabelecer medidas quantitativas para a importância relativa dos critérios e o desempenho das alternativas em cada critério e (c) analisar os valores numéricos a fim de classificar a atratividade de cada alternativa [6]. Métodos de decisão fundamentados em múltiplos critérios têm sido utilizados para avaliar a sustentabilidade de construções por meio de uma visão abrangente, levando em conta aspectos ambientais, econômicos e sociais [7,8].

Neste estudo, artigos foram selecionados por meio de *strings* de busca baseados em palavras-chave relacionadas ao assunto. O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica sobre a escolha de alternativas de cobertura com base em múltiplos critérios e apontar os principais procedimentos que vêm sendo utilizados na literatura.

MÉTODO

Os artigos revisados foram selecionados com base em uma pesquisa realizada na base de dados Scopus (a maior base de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares). A busca foi atualizada em abril de 2024 e envolveu as palavras-chave *roof*

ou *ceiling* e *multi-criteria* ou *multicriteria* ou *multi criteria* ou *select* method** no título, resumo ou nas palavras-chave dos artigos. O objetivo foi encontrar trabalhos que utilizaram MCDM para comparar diferentes alternativas de coberturas para edificações e classificar a mais adequada com base em critérios de avaliação. Buscou-se verificar (i) as alternativas de cobertura comparadas nos estudos, (ii) os critérios adotados para a comparação, (iii) a forma de avaliação dos critérios, (iv) o método MCDM adotado e (v) os principais resultados encontrados.

Os estudos que envolveram outros elementos construtivos (como paredes) ou outras infraestruturas (como pavimento permeável) na análise, ou que compararam apenas os materiais para a cobertura ou para sua estrutura foram excluídos da amostra. Estudos que avaliaram os benefícios e obstáculos para a adoção de apenas uma tipologia também foram excluídos. Artigos encontrados por meio de revisão de literatura que não apareceram na pesquisa por palavras-chave na base de dados Scopus, mas que atenderam ao objetivo desta revisão, foram incluídos. Não houve limitação de espaço temporal.

Uma seleção prévia foi realizada a partir da leitura do título e resumo de cada estudo, excluindo os trabalhos que não atenderam aos critérios estabelecidos. Em seguida, o conteúdo dos trabalhos foi analisado de forma mais aprofundada. Após a revisão, restaram dezessete artigos, dos quais doze foram publicados entre 2019 e 2024.

RESULTADOS

LOCAL DE PUBLICAÇÃO DOS ESTUDOS REVISADOS

A Tabela 1 apresenta o local de publicação dos estudos revisados. A maioria dos trabalhos que utilizaram MCDM para comparar diferentes alternativas de coberturas foram publicados em periódicos, havendo apenas uma publicação em conferência e uma em livro. Com relação aos periódicos, o maior número de artigos (quatro) foi encontrado no *Building and Environment*, seguido por *Journal of Building Engineering* e *Sustainable Cities and Society*, com dois artigos cada um. Nenhum artigo de revisão foi encontrado.

Tabela 1: Local de publicação dos estudos revisados

Local de publicação do artigo	Número
Conferência	1
Livro	1
Periódico	15
Nome do periódico	
Building and Environment	4
Journal of Building Engineering	2
Sustainable Cities and Society	2
Buildings	1
Environment Systems and Decisions	1
International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development	1
Journal of Cleaner Production	1
Science of the Total Environment	1
Socio-Economic Planning Sciences	1
Sustainability	1

Fonte: os autores.

ALTERNATIVAS DE COBERTURAS

As alternativas de cobertura comparadas por meio de MCDM são apresentadas no Quadro 1. Dentre os dezessete estudos revisados, quinze (88% do total) incluíram coberturas verdes na análise. Destes, sete estudos realizaram comparações entre diferentes alternativas de coberturas verdes [9–15]. A decisão de instalar uma cobertura verde deve ser tomada durante a fase de projeto de uma edificação. Embora essas coberturas sejam vistas como soluções sustentáveis por mitigarem os impactos negativos da urbanização, seu desempenho é influenciado pela composição e pelas propriedades de suas camadas. Além disso, são diversos os possíveis benefícios da implantação de coberturas verdes, como redução da energia de climatização, mitigação do efeito das ilhas de calor, redução do escoamento superficial, melhoria da qualidade do ar e manutenção da biodiversidade. Dessa forma, selecionar o tipo de cobertura verde que otimiza os benefícios em cada localidade envolve um complexo processo de tomada de decisão. Esse processo de avaliar diferentes tipos de cobertura verde frente a múltiplos critérios tem sido realizado por meio da metodologia MCDM.

Oito estudos incluíram coberturas verdes juntamente com outros tipos de cobertura na análise [16–23]. Além das coberturas verdes, coberturas frias e com sistemas fotovoltaicos são frequentemente comparadas às coberturas convencionais como possíveis intervenções para contribuir com a economia de energia e a redução de outros impactos ambientais.

Apenas dois estudos utilizaram MCDM para auxiliar no processo de seleção considerando outras tipologias de cobertura [24,25].

Quadro 1: Alternativas de cobertura comparadas pelos estudos revisados

Referência	Alternativas de cobertura
Rahman, Perera e Odeyinka [25]	Telha solar, de concreto e de cerâmica.
Collier et al. [20]	Cobertura fria, vegetada e solar.
Dabbaghian et al. [21]	Cobertura convencional, verde extensiva e verde intensiva.
Gagliano et al. [16]	Cobertura convencional, fria e verde.
Guzmán-Sánchez et al. [17]	Cobertura plana com autoproteção, com acabamento em cascalho, com piso flutuante e verde.
Mahdiyar et al. [9]	Cobertura verde extensiva, semi-intensiva e intensiva.
Rosasco e Perini [19]	Cobertura convencional e verde.
Langemeyer et al. [11]	Cobertura verde extensiva, semi-intensiva, intensiva, naturalizada e loteamento.
Teotónio et al. [12]	Coberturas verdes extensivas, semi-intensivas e intensivas, acessíveis e não acessíveis.
Gomes, Silvestre e Brito [24]	Coberturas planas invertidas e convencionais com acesso limitado e acessíveis a pessoas e invertidas com acesso a veículos.
Sonetti e Lombardi [18]	Cobertura verde, isolada e simplesmente impermeabilizada.
Motlagh, Pons e Hosseini [14]	Cobertura verde extensiva, semi-intensiva e intensiva.
Carrera et al. [10]	Coberturas verdes com diferentes combinações de substrato e camada filtrante.
Teotónio et al. [13]	Coberturas verdes com diferentes tipos de vegetação, com ou sem acessibilidade e com ou sem o uso de materiais reciclados.
Maurer, Lienert e Cook [22]	Coberturas planas pretas, de cascalho, frias, verdes extensivas e semi-intensivas, com ou sem instalação fotovoltaica.
Ekmekcioğlu [15]	Cobertura verde extensiva e intensiva.
Ruá et al. [23]	Cobertura existente, verde não transitável, de cascalho não transitável, invertida com pavimentação elevada, aderida e permeável.

Fonte: os autores.

Nas pesquisas de Teotónio et al. [12] e Motlagh, Pons e Hosseini [14], realizadas em Lisboa (Portugal) e Teerã (Irã), respectivamente, a cobertura verde intensiva foi identificada como a melhor solução quando comparada com extensiva ou semi-intensiva. Por outro lado, Ekmekcioğlu [15] considerou a cobertura verde extensiva como a configuração ideal para o estudo de caso realizado em Istambul (Turquia). Além da influência das características das coberturas verdes adotadas, do local de estudo e dos critérios considerados, se consideradas diferentes zonas da cidade, diferentes coberturas verdes podem ser priorizadas [11]. Coberturas verdes que consideraram materiais reutilizados ou reciclados em sua composição geralmente apresentaram melhor desempenho em comparações realizadas com base em múltiplos critérios [10,13].

Em estudos MCDM que compararam coberturas verdes com modelos convencionais, as coberturas verdes geralmente apresentaram maiores pontuações [16,17,19,21]. O oposto foi verificado no estudo de Ruá [23]. Collier et al. [20] e Sonetti e Lombardi [18] identificaram diferentes coberturas como mais apropriadas conforme as diferenças nos pesos dados aos critérios, reforçando que os resultados dependem também do viés adotado por cada grupo de especialistas. Portanto, a seleção dos entrevistados deve estar alinhada com os objetivos do estudo. Quando coberturas verdes são consideradas com instalação fotovoltaica, apresentam-se como ideais [22].

AVALIAÇÃO DAS COBERTURAS

O Quadro 2 apresenta os múltiplos critérios utilizados para avaliar e comparar as alternativas de cobertura e a Tabela 2 apresenta a forma como as coberturas foram avaliadas em cada critério.

Os critérios variam muito entre os estudos e foram adotados com base em pesquisa na literatura, selecionados pelos próprios autores do estudo e em alguns casos, um painel de especialistas foi consultado para auxiliar na definição dos critérios.

De forma geral, buscam retratar aspectos ambientais, econômicos, sociais e de caráter técnico. Do ponto de vista ambiental, critérios relacionados com o desempenho térmico (por exemplo, consumo de energia com aquecimento e resfriamento, energia embutida, gases de efeito estufa e ilhas de calor urbano) e hidrológico (como qualidade e controle de escoamento das águas pluviais) foram os mais relacionados. Com relação ao aspecto econômico, os critérios mais comumente adotados foram os custos iniciais, de uso e manutenção das coberturas.

Os critérios que buscam representar o aspecto social não foram adotados por um número menor de estudos e apresentaram grande variação entre os trabalhos. São exemplos de critérios sociais utilizados em mais de um trabalho, a estética urbana, a manutenção da biodiversidade e a segurança.

Critérios técnicos também foram utilizados em um número menor de estudos. Destacam-se: peso do sistema de cobertura, isolamento acústico e facilidade de instalação.

Para ponderar o desempenho relativo das alternativas de cobertura em relação a cada critério, os estudos utilizaram uma ou mais formas de avaliação. Em 29% dos estudos, a avaliação de cada cobertura com relação aos critérios foi realizada por meio da opinião de um grupo de especialistas.

Cerca de 41% dos estudos revisados adotaram valores reportados na literatura ou em legislações para avaliar o desempenho das coberturas quanto aos critérios adotados.

A avaliação realizada por meio de simulações computacionais ou procedimentos experimentais, que melhor representam a realidade específica do estudo de caso, foi constatada em 41% dos estudos.

Ressalta-se que alguns trabalhos adotaram diferentes formas de avaliação para diferentes critérios de avaliação, como mostra a Tabela 2.

Quadro 2: Critérios adotados pelos estudos revisados para avaliação das coberturas

Referência	Critérios de avaliação
Rahman, Perera e Odeyinka [25]	Custo, estética, durabilidade e desempenho energético.
Collier et al. [20]	Custo de construção e uso, metas da empresa, bem estar, uso de recursos e impactos ambientais.
Dabbaghian et al. [21]	Custo de capital, de manutenção e de renovação, mudanças climáticas, gestão de águas pluviais, qualidade da água de escoamento, esgotamento de recursos, gestão de resíduos, riscos ambientais, peso, segurança contra incêndio, durabilidade e vulnerabilidade da área.
Gagliano et al. [16]	Consumo de energia para aquecimento e resfriamento, conforto térmico, mitigação do efeito das ilhas de calor urbano, estresse térmico na cobertura e uso de recursos naturais.
Guzmán-Sánchez et al. [17]	Albedo, energia solar, sequestro de carbono, carbono embutido, energia embutida, atenuação de escoamento, purificação da água, controle de umidade relativa, biodiversidade e produtividade agrícola, materiais recicláveis, isolamento térmico, controle de ruído, custo do ciclo de vida, estética, carga morta e proteção da cobertura.
Mahdiyar et al. [9]	Gestão de água, espaço recreativo, economia de energia, benefícios ambientais, incentivos governamentais, estética, criação de habitat para a vida selvagem urbana, certificado de construção verde, absorção de ruído, aumento do valor do imóvel, tipo de acesso necessário, considerações estruturais, custo inicial necessário adicional, período de retorno, valor presente líquido e custos de manutenção.
Rosasco e Perini [19]	Custos de instalação, manutenção e descarte, incentivos fiscais, benefício imobiliário, economia financeira de energia, qualidade do ar, redução da ilha de calor, redução de escoamento, energia embutida e emissão de carbono, sustentabilidade de recursos, estética do edifício, estética urbana e biodiversidade, adequação ao local, saúde, longevidade do telhado, redução de ruído acústico, peso e propriedades de isolamento.
Langemeyer et al. [11]	Regulação térmica, controle de escoamento de águas pluviais, habitats para polinizadores, produção de alimentos, oportunidades recreativas e facilitação da coesão social.
Teotónio et al. [12]	Custos, valor agregado na estética e espaço de lazer, segurança contra incêndio, isolamento térmico e isolamento acústico.
Gomes, Silvestre e Brito [24]	Custos ambientais, custos econômicos e custos com energia de aquecimento e resfriamento.
Sonetti e Lombardi [18]	Desempenho térmico, custo de construção, desempenho estético, utilidade social e impacto ambiental.
Motlagh, Pons e Hosseini [14]	Custo e tempo de implementação, consumo de recursos, emissões, segurança e compatibilidade.
Carrera et al. [10]	Permeabilidade, custo do ciclo de vida, perfuração dinâmica, perfuração estática, isolamento térmico, resistência à hidrólise, resistência à oxidação, densidade, abertura característica, pegada de carbono, composição da matéria orgânica, conteúdo de matéria orgânica do efluente e massa por unidade de área de superfície.
Teotónio et al. [13]	Estética, possibilidade de incorporação de material reciclado e possibilidade de uso da cobertura para lazer e estudo.
Maurer, Lienert e Cook [22]	Demanda de aquecimento e de resfriamento, emissão de gases de efeito estufa, escoamento de águas pluviais, aquecimento urbano, biodiversidade, custo de investimento, manutenção e eletricidade.
Ekmekcioğlu [15]	Custo inicial e operacional, economia de energia, vida útil, oportunidades de negócios, carga estrutural, suporte estrutural adicional, complexidade operacional e de instalação, resistência às forças do vento, retenção de águas pluviais, melhoria da qualidade do ar e da água e redução de ruídos, mitigação das ilhas de calor e adaptação climática em termos de plantas, flora e fauna.
Ruá et al. [23]	Isolamento térmico, reciclagem, custo do investimento inicial e manutenção, facilidade de execução, isolamento acústico, peso, vedação contra infiltração de água e estética.

Fonte: os autores.

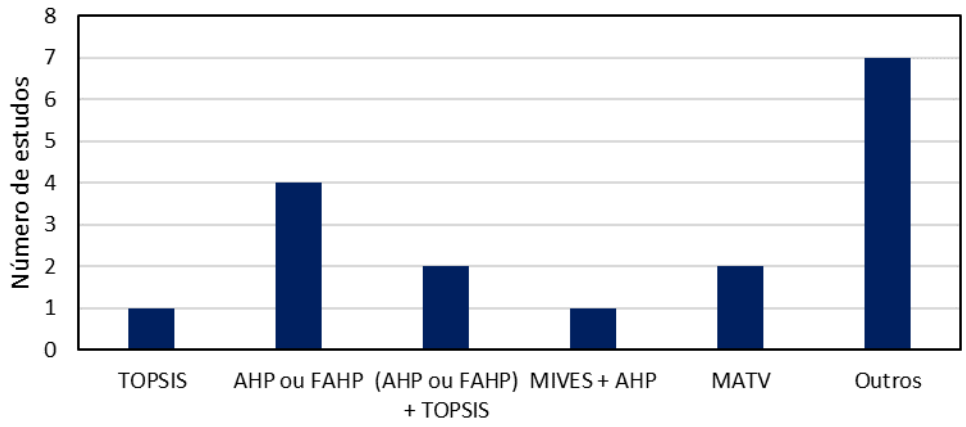
Tabela 2: Forma de avaliação do desempenho das coberturas em cada critério

Referência	Prioridade relativa	Literatura/ legislação	Simulação/ experimentos/ mercado
Rahman, Perera e Odeyinka [25]	✓		
Collier et al. [20]		✓	
Dabbaghian et al. [21]			✓
Gagliano et al. [16]			✓
Guzmán-Sánchez et al. [17]		✓	✓
Mahdiyar et al. [9]	✓		
Rosasco e Perini [19]		✓	
Langemeyer et al. [11]	✓		
Teotónio et al. [12]		✓	
Gomes, Silvestre e Brito [24]		✓	
Sonetti e Lombardi [18]			✓
Motlagh, Pons e Hosseini [14]		✓	
Carrera et al. [10]			✓
Teotónio et al. [13]	✓		
Maurer, Lienert e Cook [22]		✓	✓
Ekmekcioğlu [15]	✓		
Ruá et al. [23]			✓

Fonte: o autor.

A Figura 1 apresenta os principais métodos de avaliação multicritério utilizados pelos estudos revisados. A maior parte trabalhos (cerca de 40%) utilizou a metodologia AHP ou alguma de suas variações, conjuntamente ou não com outro método [13–15,17–19,21]. O método *Technique of ranking Preferences by Similarity to the Ideal Solution* (TOPSIS), isolado ou em conjunto com outro método, foi utilizado por três trabalhos [15,17,25]. Dois dos estudos revisados utilizaram o método *Multi-Attribute Value Theory* (MATV) [20,22].

Figura 1: Métodos utilizados nos estudos revisados



Abreviações: *Technique of ranking Preferences by Similarity to the Ideal Solution* (TOPSIS), *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (FAHP), *Multi-criteria decision-making method* (MIVES) e *Multi-Attribute Value Theory* (MAVT). Fonte: os autores.

Em três estudos, a pontuação final de cada cobertura foi dada pela soma das pontuações em cada critério. Em um destes estudos o mesmo peso foi dado aos critérios [16] e nos outros dois, o peso relativo dos critérios foi determinado por especialistas [11,23].

CONCLUSÕES

A metodologia MCDM tem sido utilizada no desenvolvimento de construções sustentáveis devido à sua capacidade de apoiar a tomada de decisão a partir de uma abordagem holística. Dessa forma, devido à variedade de alternativas de cobertura e a influência das características de cada estudo de caso no desempenho dessas alternativas, a tomada de decisão com base em múltiplos critérios torna-se ferramenta cada vez mais essencial.

Por meio da revisão dos artigos selecionados, observou-se que a maioria dos estudos (88%) incluíram as coberturas verdes na análise. Essa tipologia de cobertura requer recursos adicionais, pois a quantidade de materiais é geralmente maior do que a utilizada em telhados convencionais, entretanto, pode proporcionar benefícios diversos. Dessa forma, a decisão de implantar ou não uma cobertura verde é um processo complexo e que pode ser auxiliado por meio da metodologia MCDM.

Os critérios adotados para avaliar as coberturas em estudos que utilizaram MCDM geralmente buscam retratar aspectos ambientais, econômicos, sociais e de caráter técnico, entretanto, variam muito entre os estudos. Menos da metade dos estudos revisados (41%) realizaram simulações computacionais ou procedimentos experimentais para avaliar o desempenho das coberturas em cada critério. O restante dos estudos adotou valores reportados na literatura e em legislações ou se baseou em avaliações de especialistas. A metodologia mais utilizada nos trabalhos para comparar o desempenho de coberturas por meio de MCDM foi a *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ou alguma de suas variações, conjuntamente ou não com outro método, a exemplo do *Technique of ranking Preferences by Similarity to the Ideal Solution* (TOPSIS).

A seleção dos métodos de avaliação e do grupo de entrevistados responsável por determinar o peso dos critérios deve estar alinhada com os objetivos do estudo, tendo em vista que os resultados são influenciados por estas escolhas. Este estudo contribuiu com o entendimento dos métodos de escolha de coberturas a partir de uma abordagem holística.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124-136, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.038.

[2] SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023.

[3] BESIR, A.B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 915-939, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106.

[4] COSTANZO, V.; EVOLA, G.; MARLETTA, L. Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 247-255, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.053.

[5] WANG, R.; LAM, C.M.; ALVARADO, V.; HSU, SC. A modeling framework to examine photovoltaic rooftop peak shaving with varying roof availability: A case of office building in Hong Kong. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 103349, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103349.

[6] TRIANTAPHYLLOU, E. **Multi-criteria decision making methods**: A comparative study. 1 ed. Baton Rouge: Springer, 2000.

[7] INVIDIATA, A.; LAVAGNA, M.; GHISI, E. Selecting design strategies using multi-criteria decision making to improve the sustainability of buildings. **Building and Environment**, v. 139, p. 58-68, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.041.

[8] TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Sustainable energy performance in Brazilian social housing: A proposal for a Sustainability Index in the energy life cycle considering climate change. **Energy and Buildings**, v. 242, p. 110845, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110845.

[9] MAHDIYAR, A.; TABATABAEE, S.; DURDYEV, S.; ISMAIL, S.; ABDULLAH, A.; WAN MOHD RANI, W.N.M. A prototype decision support system for green roof type selection: A cybernetic fuzzy ANP method. **Sustainable Cities and Society**, v. 48, p. 101532, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101532.

[10] CARRERA, D.; LOMBILLO, I.; CARPIO-GARCÍA, J.; BLANCO, H. Assessment of different combinations of substrate-filter membrane in green roofs. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103455, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103455.

[11] LANGEMEYER, J.; WEDGWOOD, D.; MCPHEARSON, T.; BARÓ, F.; MADSEN, A.L.; BARTON, D.N. Creating urban green infrastructure where it is needed – A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. **Science of The Total Environment**, v. 707, p. 135487, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135487.

[12] TEOTÓNIO, I.; CABRAL, M.; CRUZ, C.O.; SILVA, C.M. Decision support system for green roofs investments in residential buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119365, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119365.

[13] TEOTÓNIO, I.; CRUZ, C.O.; SILVA, CM.; LOPES, R.F.R. Bridging CBA and MCA for evaluating green infrastructure: Proposal of a new evaluation model (MAGICA). **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 85, p. 101446, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101446.

[14] MOTLAGH, S.H.B.; PONS, O.; HOSSEINI, S.M.A. Sustainability model to assess the suitability of green roof alternatives for urban air pollution reduction applied in Tehran. **Building and Environment**, v. 194, p. 107683, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107683.

[15] EKMEKCIOĞLU, Ö. On the identification of most appropriate green roof types for urbanized cities using multi-tier decision analysis: A case study of Istanbul, Turkey. **Sustainable Cities and Society**, v. 96, p. 104707, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104707.

[16] GAGLIANO, A.; DETOMMASO, M.; NOCERA, F.; EVOLA, G. A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. **Building and Environment**, v. 90, p. 7181, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.043.

[17] GUZMÁN-SÁNCHEZ, S.; JATO-ESPINO, D.; LOMBILLO, I.; DIAZ-SARACHAGA, J.M. Assessment of the contributions of different flat roof types to achieving sustainable development. **Building and Environment**, v. 141, p. 182-192, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.063.

[18] SONETTI, P.; LOMBARDI, G. Multi-criteria decision analysis of a building element integrating energy use, environmental, economic and aesthetic parameters in its life cycle. In: MONDINI, G.; OPPIO, A.; STANGHELLINI, S.; BOTTERO, M.; ABASTANTE, F. **Values and Functions for Future Cities**. 1 ed. Cham: Springer, 2020, p. 463-477.

[19] ROSASCO, P.; PERINI, K. Selection of (Green) Roof Systems: A Sustainability-Based Multi-Criteria Analysis. **Buildings**, v. 9, p. 134, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings9050134.

[20] COLLIER, Z.A.; WANG D.; VOGEL, J.T.; TATHAM, E.K. Sustainable roofing technology under multiple constraints: A decision-analytical approach. **Environment Systems and Decisions**, v. 33, p. 261-271, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s10669-013-9446-5.

[21] DABBAGHIAN, M.; HEWAGE, K.; REZA, B.; CULVER, K.; SADIQ, R. Sustainability performance assessment of green roof systems using fuzzy-analytical hierarchy process (FAHP). **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 5, n. 4, p. 260-276, 2014. DOI: https://doi.org/10.1080/2093761x.2014.923794.

[22] MAURER, B.; LIENERT, J.; COOK, L.M. Comparing PV-green and PV-cool roofs to diverse rooftop options using decision analysis. **Building and Environment**, v. 245, p. 110922, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110922.

[23] RUÁ, M.J.; PITARCH, A.M.; ARÍN, I.; REIG, L. A Roof Refurbishment Strategy to Improve the Sustainability of Building Stock: A Case Study. **Sustainability**, v. 16, n. 5, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su16052028.

[24] GOMES, R.; SILVESTRE, J.D.; DE BRITO, J. Environmental, economic and energy life cycle assessment “from cradle to cradle” (3E-C2C) of flat roofs. **Journal of Building Engineering**, v. 32, p. 101436, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101436.

[25] RAHMAN, S.; PERERA S.; ODEYINKA H.; BI, Y. A conceptual knowledge-based cost model for optimizing the selection of materials and technology for building design. In: 24th Annual ARCOM Conference. **Proceedings [...]** Cardiff: Association of Researchers in Construction Management, 2009, p. 217-225.