TOMADA DE DECISÃO PARA SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS: APLICAÇÕES DE *CHOOSING BY ADVANTAGES* ASSOCIADAS À MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Decision-making for sustainable solutions: CBA applications associated to Building Information Modeling

Milena Verçosa Vieira
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | mvvieira@arquitetura.ufc.br

Clarissa Notariano Biotto
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | clarissa.biotto@iaud.ufc.br

Neliza Maria e Silva Romcy
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | nelizaromcy@iaud.ufc.br

RESUMO

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (2022), a indústria da construção é responsável por 37% das emissões globais de CO_2, demandando soluções sustentáveis que integrem múltiplos aspectos. Nesse contexto, Métodos Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão ganham relevância, destacando-se o sistema de tomada de decisão *Choosing by Advantages* (CBA), cujo método tabular avalia vantagens entre alternativas de variadas complexidades. Paralelamente, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) constitui tecnologias, processos e políticas que facilitam a gestão colaborativa da informação na construção. Assim, compreendendo suas potencialidades, o estudo tem como objetivo propor o desenvolvimento de um modelo de integração entre CBA e BIM para apoio à decisão em projetos sustentáveis. Compondo uma pesquisa de mestrado em curso e, baseado em uma Revisão Sistemática da Literatura prévia, o artigo identificou: i) aplicações mais recorrentes do CBA na sustentabilidade; ii) principais fatores para comparar soluções sustentáveis; iii) lacuna de pesquisa, considerando que apenas 4 dentre 30 estudos relacionam CBA, BIM e sustentabilidade. Como contribuição, foi proposto um diagrama de aplicação CBA-BIM no contexto brasileiro, fundamentado nas normas técnicas nacionais e na modelagem através das *Industry Foundation Classes* (IFC), que deverá ser testado por meio de estudo de caso futuro.

Palavras-chave: Revisão sistemática da literatura; Métodos de apoio à decisão multicritério; Sustentabilidade na construção; Industry Foundation Classes; Normas brasileiras.

ABSTRACT

According to the United Nations Environment Programme (2022), the construction industry accounts for 37% of global CO_2 emissions, demanding sustainable solutions that integrate multiple aspects. In this context, Multicriteria Decision Aid Methods gain relevance, particularly the Choosing by Advantages (CBA) decision-making system, which tabular method compares the advantages between alternatives of varied complexities. Simultaneously, the Building Information Modeling (BIM) methodology comprises technologies, processes and policies that facilitate collaborative information management in construction. Thus, understanding its potential, the present study aims to propose the development of an integration model between CBA and BIM to support decision-making in sustainable projects. This article is part of an ongoing masters' research and it identified these points based on a previous Systematic Literature Review: i) the most recurrent CBA applications in sustainability; ii) the main factors for comparing sustainable solutions; iii) research gap, considering that only 4 out of 30 papers relate CBA, BIM and sustainability. As a contribution, a CBA-BIM application diagram was proposed for the Brazilian context, grounded in national technical standards and modeling through Industry Foundation Classes (IFC), which should be tested through a future case study.

Keywords: Systematic literature review; Multicriteria decision support methods; Sustainability in construction; Industry Foundation Classes; Brazilian standards.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são uma urgência global, dado o aumento da temperatura e as projeções de elevação entre 2030 e 2050, acarretando variados impactos, como ondas de calor, secas, enchentes e elevação do nível do mar, caso medidas profundas não sejam adotadas (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, 2023). O enfrentamento dessas questões também envolve a elaboração de projetos sustentáveis e adaptados aos riscos climáticos, considerando que os edifícios foram responsáveis por 37% das emissões de CO_2 em 2022 (*United Nations Environment Programme* - UNEP, 2024).

A adoção de metodologias que apoiem decisões complexas é essencial diante dos desafios da sustentabilidade, conforme os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que integram aspectos econômicos, ambientais e sociais. Nesse sentido, esta pesquisa realizou uma revisão sistemática da literatura para investigar a relação entre sustentabilidade, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) e o sistema de tomada de decisão *Choosing by Advantages* (CBA).

O BIM permite a colaboração entre os diversos agentes ao longo do ciclo de vida do projeto por meio de tecnologias, processos e políticas (Succar, 2013), além de apoiar práticas sustentáveis por sua interoperabilidade com a Avaliação do Ciclo de Vida (Arenas; Shafique, 2023). Já o CBA auxilia na escolha entre alternativas com base em suas vantagens, promovendo decisões mais eficientes e evitando contagens duplas (Suhr, 1999; Arroyo, 2016a).

Essa abordagem se destaca na sustentabilidade por avaliar múltiplos fatores e é eficaz na Construção Enxuta ao promover decisões colaborativas e baseadas em valor (Ding; Parrish, 2019). Além disso, quando comparado a outros métodos de apoio à tomada de decisão, percebe-se suas potencialidades e limitações para determinados contextos. Alguns estudos apontam que o CBA é mais eficaz do que o *Analytical Hierarchy Process* (AHP) ao escolher uma alternativa de um conjunto finito de alternativas, pode ajudar a tornar uma decisão mais transparente do que o *Weighting, Rating and Calculating* (WRC), ao mesmo tempo que é mais simples de conduzir em grupos de decisão (Arroyo *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2014; Arroyo *et al.*, 2016b).

A partir de uma revisão sistemática da literatura elaborada pelas autoras, observou-se que o CBA tem sido bastante utilizado para apoiar decisões sustentáveis no setor da construção, abrangendo uma diversidade de projetos nas escalas do edifício (Arroyo *et al.*, 2014; Arroyo *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2016a; Arroyo *et al.*, 2016b; Arroyo *et al.*, 2016c; Zeule *et al.*, 2017; Correa *et al.*, 2017; Wao, 2017; Torp *et al.*, 2024; Chauhan *et al.*, 2019; Sahadevan; Varghese, 2019; Vázquez-Rowe *et al.*, 2021; Grant, 2021; Ahmed; Arocho, 2022; Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024) e da infraestrutura (Arroyo *et al.*, 2018; Arroyo; Molinos-Senante, 2018; Torres-Machi *et al.*, 2019; Yoon; Naderpajouh; Hastak, 2019; Perez; Arroyo, 2019; Perez *et al.*, 2021; Christensen, 2022; Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022; Goh *et al.*, 2022; Aza *et al.*, 2023). Dentre as publicações revisadas, foram consideradas 22 que tratavam de estudos de caso não repetidos entre si para verificar os fatores mais recorrentemente avaliados nesses processos decisórios, com destaque para as emissões de CO_2 e CO_2 equivalente, desempenho acústico e consumo de energia (Quadros 1 e 2).

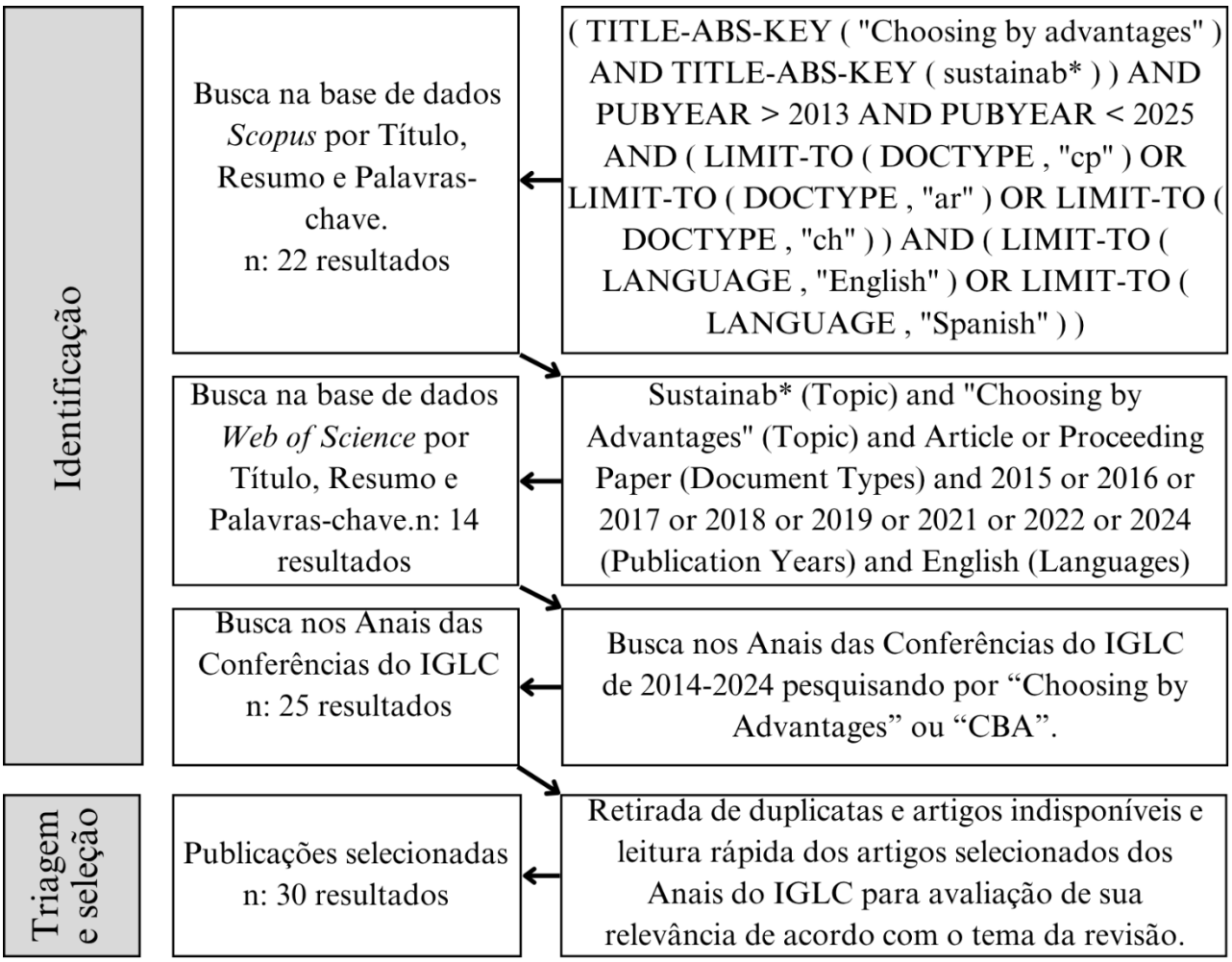
Por fim, constatou-se uma lacuna na integração entre CBA e BIM, uma vez que apenas 4 estudos (Sahadevan; Varghese, 2019; Vázquez-Rowe *et al*., 2021; Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024), dentre os 30 revisados, trouxe essa combinação. Nesses casos, observou-se o uso associado de BIM e CBA, respectivamente, para a decisão de leiautes com múltiplos critérios, incluindo a sustentabilidade por meio da avaliação da energia incorporada dos materiais usados na construção; em interoperabilidade com a ACV para definição de melhores alternativas de projeto; para apoiar decisões sustentáveis por meio de *Building Energy Modeling* e simulações de BIM 6D; para a avaliação de alternativas de paredes não estruturais. Esses estudos trazem diferentes modelos de combinação do BIM e do CBA e apontam para a necessidade de novos estudos para testar a sua validade, bem como foi apontada por Vázquez-Rowe *et al.* (2021) a limitação de compreender o contexto do local do estudo para a aplicabilidade, replicabilidade e seleção dos fatores a serem avaliados.

Diante desse cenário, o presente artigo propõe o desenvolvimento de um modelo de integração entre CBA e BIM para apoio à decisão em projetos sustentáveis, com base nos fatores mais recorrentes encontrados na RSL e no mapeamento das Normas Técnicas Brasileiras.

2 METODOLOGIA

Para fundamentar essa investigação, a RSL investigou a relação entre CBA, BIM e sustentabilidade na literatura durante a última década (2014-2024), baseando-se no processo de seleção PRISMA (PAGE *et al*., 2021) para a escolha das publicações (Figura 1). Para isso, foram utilizadas as bases de dados do *Scopus* e *Web of Science*, utilizando as 3 palavras de forma combinada (CBA, BIM e Sustentabilidade). Essa primeira busca levou à percepção de uma lacuna: poucos trabalhos traziam o uso do BIM associado a esses tópicos. Assim, foram incluídos apenas os tópicos de sustentabilidade e CBA; além disso, a busca foi ampliada por meio da adição de artigos sobre CBA encontrados nos anais do *International Group for Lean Construction* (IGLC) no mesmo período de dez anos.

Figura 1: Fluxograma da Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2025) com base no PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021).

Foram identificados 16 fatores recorrentes nas 30 publicações revisadas. Dentre eles, três foram os mais citados, estão presentes em mais de 30% dos artigos e serão foco deste estudo: emissões de CO_2, acústica e consumo de energia. Os demais fatores, embora relevantes, não serão analisados aqui (Quadro 1). Dentre estes, alguns se relacionam com os 3 escolhidos para maior aprofundamento, como a capacidade de isolamento, que pode ser um atributo para aferição do consumo de energia.

Quadro 1: 16 fatores de avaliação de sustentabilidade por meio do CBA mais recorrentes, considerando os artigos revisados.

FATOR	FREQUÊNCIA DE USO EM ARTIGOS	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
Emissão de CO_2 ou de CO_2 eq.	54,54%	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2014; Arroyo *et al.*, 2016a; Arroyo *et al.*, 2016c; Arroyo *et al.*, 2018; Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022; Zeule *et al.*, 2017; Yoon; Naderpajouh; Hastak, 2019; Pérez *et al.*, 2021; Torres-Machi *et al.*, 2019; Wao, 2017; Vázquez-Rowe *et al.*, 2021; Ahmed; Arocho, 2022.
Acústica	50%	Arroyo *et al.*, 2018; Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022; Arroyo *et al.*, 2016a; Arroyo *et al.*, 2016c; Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024; Arroyo; Tommelein; Ballard, 2015; Ahmed; Arocho, 2022; Arroyo; Molinos-Senante, 2018; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024; Correa *et al.*, 2017; Sahadevan; Varghese, 2019.
Consumo de Energia	36,36%	Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024; Arroyo; Tommelein; Ballard, 2015; Arroyo; Molinos-Senante, 2018; Wao, 2017; Goh *et al.*, 2022; Correa *et al.*, 2017; Sahadevan; Varghese, 2019; Aza *et al.*, 2023.
Durabilidade	27,27%	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2014; Arroyo *et al.*, 2016a; Arroyo *et al.*, 2018; Wao, 2017; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024; Chauhan *et al.*, 2019.
Requisitos Espaciais	22,72%	Arroyo *et al.*, 2016c; Arroyo; Molinos-Senante, 2018; Chauhan *et al.*, 2019; Sahadevan; Varghese, 2019; Aza *et al.*, 2023.
Aspectos Visuais	22,72%	Arroyo; Molinos-Senante, 2018; Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022; Goh *et al.*, 2022; Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024.
Experiência dos Intervenientes	22,72%	Arroyo *et al.*, 2016c; Arroyo *et al.*, 2018; Torres-Machi *et al.*, 2019; Pérez *et al.*, 2021; Ahmed; Arocho, 2022.
Segurança do Trabalho	22,72%	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2015; Arroyo *et al.*, 2018; Chauhan *et al.*, 2019; Pérez *et al.*, 2021; Ahmed; Arocho, 2022.
Capacidade de Isolamento	18,18%	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2014; Arroyo; Tommelein; Ballard, 2015; Arroyo *et al.*, 2016a; Arroyo *et al.*, 2018.
Resíduos e Reciclagem	18,18%	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2015; Arroyo *et al.*, 2018; Pérez *et al.*, 2021; Chauhan *et al.*, 2019.
Qualidade	18,18%	Ahmed; Arocho, 2022; Chauhan *et al.*, 2019; Sahadevan; Varghese, 2019; Wao, 2017.
Condições do Terreno	18,18%	Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022; Arroyo; Molinos-Senante, 2018; Goh *et al.*, 2018; Aza *et al.*, 2023.
Resistência ao Fogo	13,63%	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2015; Arroyo *et al.*, 2018; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024.
Uso da Água	13,63%	Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022; Arroyo *et al.*, 2016c; Arroyo; Molinos-Senante, 2018.
Aceitação da Alternativa	13,63%	Arroyo; Molinos-Senante, 2018; Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022; Ahmed; Arocho, 2022.
Requisitos de Tempo	13,63%	Torres-Machi *et al.*, 2021; Pérez *et al.*, 2021; Vázquez-Rowe *et al.*, 2021.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

De acordo com a sistematização de Arroyo (2016a), o método tabular do CBA pode ser resumido em 7 etapas: 1) Identificar alternativas de decisão; 2) Definir os fatores a serem observados para a decisão; 3) Determinar critérios, classificando-os como necessário ou desejável; 4) Identificar atributos para cada alternativa, isto é, parâmetros de mensuração dos critérios associados aos fatores avaliados; 5); Decidir as vantagens para cada alternativa; 6) Determinar o nível importância das vantagens e escolher uma vantagem mais importante; 7) Avaliação do custo em comparação com o cálculo total da importância das vantagens.

Compreendem-se como fatores os aspectos da decisão a serem avaliados, enquanto os atributos são modos de mensurar os seus critérios de avaliação. Por exemplo, em relação ao consumo de energia (fator), o critério de avaliação pode ser uma menor transmitância térmica, o que pode ser aferido com o valor U (atributo) para determinada alternativa. Desse modo, o delineamento metodológico do estudo foi dividido em 5 etapas (Figura 2).

Figura 2: Delineamento metodológico.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2025).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foram identificados os atributos associados a cada fator nos artigos revisados (Quadro 2). Na categoria de emissão de carbono, considerou-se também o carbono equivalente, que combina diferentes gases de efeito estufa (GEE), como CO_2, N_2O e CH_4, conforme Arroyo *et al.* (2018). A emissão de carbono na construção é geralmente dividida em duas etapas: operacional, relativa à operação do edifício durante todo o seu ciclo de vida, e incorporada, relativa ao ciclo de vida dos materiais que compõem a construção.

O segundo fator foi a acústica, pois a poluição sonora afeta a qualidade do meio ambiente e da vida humana. Os atributos analisados nos artigos incluem aspectos técnicos, como níveis de ruído e classes de transmissão sonora, e aspectos subjetivos, relacionados ao impacto sonoro no cotidiano.

Por fim, o terceiro fator refere-se ao consumo de energia, avaliado por atributos como massa térmica, consumo e performance energética (ex.: certificações LEED), além da energia incorporada nos materiais, da utilizada na construção e da geração energética por meio de sistemas como os de energia solar (Goh *et al.*, 2022; Aza *et al.*, 2023).

Quadro 2: Os 3 fatores mais recorrentes e seus atributos de aferição por meio do CBA.

FATORES	ATRIBUTOS	REFERÊNCIA
Emissão de CO_2 ou de CO_2 eq.	Emissão de carbono equivalente operacional (extração, processamento, produção e mistura de materiais, transporte, construção).	Arroyo *et al.,* 2018
	Controle da emissão de carbono.	Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022
	Controle da emissão de carbono (fases de operação e manutenção).	Arroyo *et al.*, 2016c
	Energia Incorporada.	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2014
	Emissão de CO2 eq. na etapa de transporte, considerando diferentes distâncias de deslocamento.	Zeule *et al*., 2017
	Impacto ambiental equivalente e taxas de carbono.	Yoon; Naderpajouh; Hastak, 2019
	Emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida de tecnologias de manutenção de pavimentos.	Torres-Machi *et al*., 2019
	Emissão de carbono de sistemas construtivos.	Ahmed; Arocho, 2022
	Emissão de carbono decorrente do gerenciamento de resíduos sólidos.	Pérez *et al.*, 2021
	Carbono incorporado de materiais.	Arroyo *et al.*, 2016a
	Neutralidade de carbono.	Wao, 2017
	Análise da emissão de co2eq. no ciclo de vida do edifício, com enfoque em alternativas de *retrofit* estrutural.	Vázquez-Rowe *et al*., 2021
Acústica	Ruído medido por decibéis e avaliado por meio de análise do ciclo de vida.	Arroyo *et al*., 2018
	Aceitação local referente a sons e vibrações do metrô.	Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022
	Ruído causado pelo fluxo de ar em sistemas de climatização.	Arroyo *et al.*, 2016c

	Classe de transmissão de som do edifício ou de determinados materiais e soluções.	Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024; Arroyo *et al.*, 2015; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024
	Performance acústica.	Ahmed; Arocho, 2022
	Impacto do ruído.	Arroyo; Molinos-Senante, 2018
	Coeficiente de redução de ruído de materiais.	Arroyo *et al.*, 2016a
	Reverberação acústica e tempo de reverberação.	Correa *et al.*, 2017; Sahadevan; Varghese, 2019
Consumo de energia	Uso total de energia por ano (kWh/ano); densidade energética (kWh/ano/m²).	Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024
	Massa térmica criada pela estrutura; capacidade de isolamento dos materiais.	Arroyo; Tommelein; Ballard, 2014
	Consumo de energia em kWh/m³.	Arroyo; Molinos-Senante, 2018
	Performance energética (alcance de padrões de eficiência energética dos edifícios de acordo com certificações como LEED).	Wao, 2017
	Potencial de irradiação solar (KW/m²/dia).	Goh *et al.*, 2022
	Consumo de energia em kWh/ano.	Correa *et al.*, 2017
	Energia incorporada dos materiais usados na construção.	Sahadevan; Varghese, 2019
	Geração de energia: Quantidade de energia gerado (kWh) por capacidade instalada (kWp) [kWh/kWp].	Aza *et al*., 2023

Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

A definição desses atributos relaciona-se a normas de desempenho e certificações, como a avaliação energética LEED (Wao, 2017). Considerando que apenas 1 dos 30 artigos revisados apresenta estudo de caso brasileiro (Zeule et al., 2017), é fundamental conectar esses fatores às normas brasileiras e transpô-los em atributos mensuráveis (Quadro 3). Isso facilita a compreensão da avaliação desses aspectos no Brasil e orienta a modelagem pelo BIM, próxima etapa da pesquisa.

É importante reconhecer as limitações desse processo, como a dificuldade de modelagem de aspectos mais subjetivos, como a aceitação social das soluções adotadas (Bhuiyan; Sulle; Hammad, 2022). É limitada também a disponibilidade de dados e *plug-ins*, especialmente no contexto brasileiro, que ainda está em processo de apropriação plena dessas tecnologias.

Quadro 3: Normas técnicas brasileiras de desempenho aplicáveis aos fatores do CBA.

FATOR	NORMAS TÉCNICAS DE DESEMPENHO	APLICAÇÃO	ATRIBUTOS
Emissão de CO_2 ou de CO_2 eq.	NBR 15575-1:2021	Recomendações gerais	Não especificado – exige controle da qualidade do ar, proibindo a liberação de poluentes em ambientes internos (entre eles, o gás carbônico); define três pontos como requisitos de sustentabilidade: durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental; indica a análise do ciclo de vida como subsídio à tomada de decisão considerando impactos ao meio ambiente;
Acústica	NBR 15575-4:2021	Isolamento acústico nos sistemas de vedações verticais internas e externas.	Rw (índice de isolamento acústico, em dB); DnT,w (Diferença padronizada de nível ponderada de isolamento a ruído aéreo sobre vedações.
	NBR 10151	Avaliação da aceitabilidade do ruído em áreas habitadas	Nível de pressão sonora equivalente (dBA)
	NBR 10152	Níveis de pressão sonora adequados a ambientes construídos internos	Ruído admissível por ambiente (ex: ≤ 35 dB para dormitórios)

Consumo de Energia	NBR 15.575-4 e NBR 15.575-5	Requisitos mínimos para desempenho térmico de paredes e coberturas	Dados climáticos; Transmitância térmica (em W/m²·K); Capacidade térmica; Percentual de abertura para ventilação; elementos transparentes
	NBR 15220:2 e NBR 15220:3	Métodos de cálculo para desempenho térmico e zoneamento bioclimático	Condutividade térmica; Transmitância térmica; Resistência térmica;

Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

A partir disso, foi elaborada uma tabela relacionando a Norma Técnica Brasileira de Classificação da Informação da Construção e seus respectivos atributos advindos de características e informações passíveis de modelagem com IFC (NBR 15965-2 e NBR 15965-7), bem como a forma de obtenção dessas propriedades (Quadro 4). Os três fatores mais citados - emissões de CO_2 ou de CO_2 eq., acústica e consumo de energia – podem ser traduzidos parcialmente em atributos modeláveis em BIM, existindo limitações de mensuração e modelagem em relação ao conjunto de critérios que compõem a sua avaliação, o que também deve ser investigado em uma próxima fase do estudo.

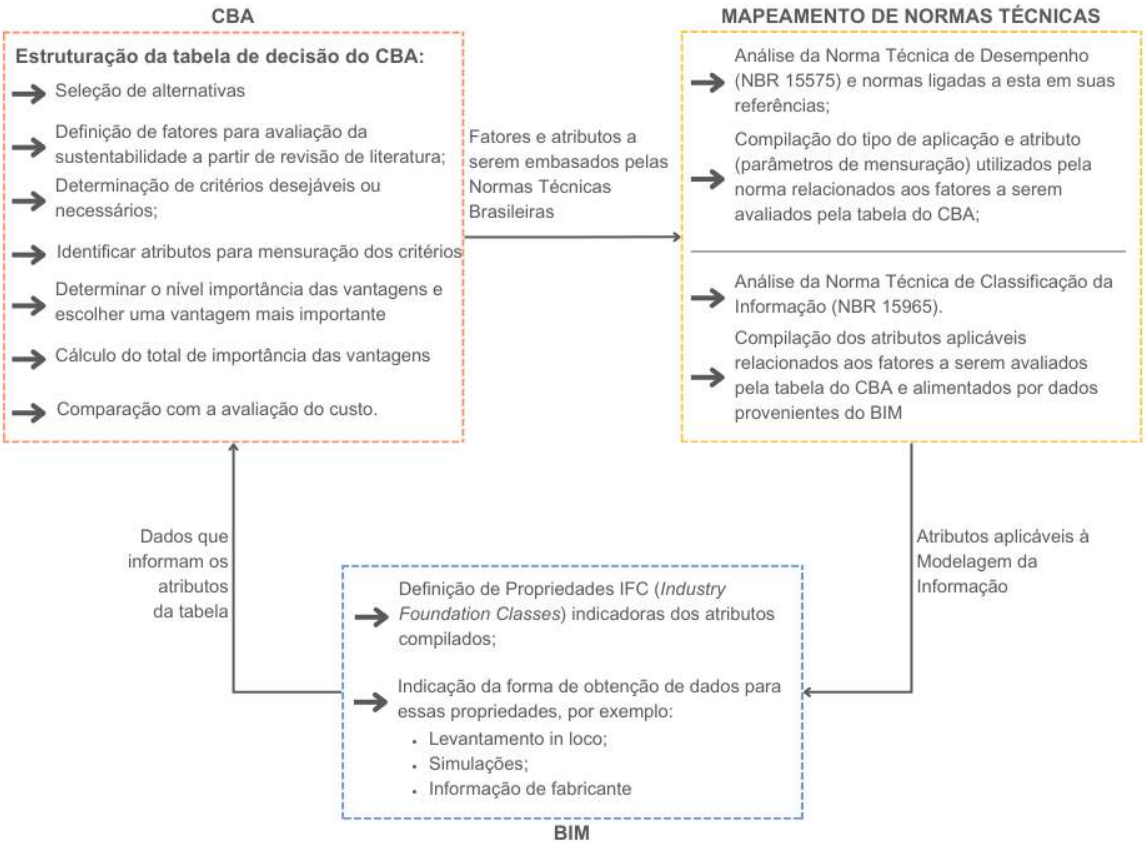
Quadro 4: Fatores e atributos do CBA atrelados às normas técnicas e à Modelagem da Informação.

FATOR	NORMA TÉCNICA DE CLASSIFICAÇÃO DA INFORMAÇÃO	CARACTERÍSTICAS E INFORMAÇÕES (ATRIBUTOS APLICÁVEIS)	PROPRIEDADE IFC	FORMA DE OBTENÇÃO
Emissão de CO_2 ou de CO_2 eq.	NBR 15965-2	Gases naturais; Certificação de produtos/fabricação sustentáveis; Emissões tóxicas; Análise do ciclo de vida; impacto ambiental; emissões de gases de efeito estufa; Declaração ambiental do produto; poluentes critério; Nível de dióxido de carbono, entre outros.	Carga ambiental do ciclo de vida (Propriedade IFC em formato numérico);	Importação a partir das EPDs (Environmental Product Declaration); Integração com bancos de ACV (Análise do Ciclo de Vida);
	NBR 15965-7	Poluição do ar; Modelos de ciclo de vida útil; Normas para sustentabilidade; Dados de poluição do ar, entre outros.		
Acústica	NBR 15965-2	Propriedades acústicas; Som relativo; Tempo de reverberação; Nível de ruído, entre outros.	Classificação acústica (Propriedade IFC em formato de texto)	Dados informados por fabricante; Simulações de desempenho acústico utilizando softwares BIM.
	NBR 15965-7	Questões referentes ao ruído (externo, interno, impacto ou referentes a equipamentos); Dados sobre ruídos (existentes ou de equipamentos do local), entre outros.		
Consumo de Energia	NBR 15965-2	Potência relativa; Temperatura; Velocidade do vento; Propriedades da envoltória; Isolamento térmico; Valor R; Valor U; Energia térmica interna, entre outros.	Transmitância Térmica (Propriedade IFC em formato numérico); Dados climáticos (Propriedades IFC associadas à geometria, com formato de texto ou numérico a depender do tipo de dado)	Dados climáticos locais; Propriedades dos materiais; Simulações energéticas utilizando softwares BIM.
	NBR 15965-7	Normas de eficiência energética; Modelos energéticos; Localização geográfica; Dados ambientais existentes; Fontes artificiais de calor; Dados sobre luz solar, entre outros.		

Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

A partir da análise integrada entre fatores de avaliação da sustentabilidade com CBA, seus atributos de aferição, as normas brasileiras de desempenho e as propriedades IFC associadas, elaborou-se um diagrama de uso combinado do BIM e do CBA para apoiar a avaliação da sustentabilidade em projetos no Brasil (Figura 3).

Figura 3: Diagrama de aplicação CBA-BIM no contexto brasileiro.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2025).

Os resultados observados (Quadros 2, 3 e 4; Figura 3) apontam para a viabilidade da integração BIM-CBA para apoio à tomada de decisão em projetos sustentáveis, seguindo um fluxo de trabalho de revisão, definição de fatores e atributos, mapeamento das normas de desempenho e de classificação da informação, além da verificação das possibilidades de modelagem BIM para a construção de tabelas de alternativas para processos de decisão com o uso de CBA associado à Modelagem da Informação. A aplicação dessa estrutura em um estudo de caso, considerando um determinado projeto e a sua modelagem como objetos de estudo, fazem parte necessária de uma etapa futura desta pesquisa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo propõe um modelo de integração entre CBA e BIM para apoio à decisão em projetos sustentáveis, por meio de revisão de literatura, mapeamento de NBRs e análise de viabilidade da modelagem desses atributos por meio de propriedades IFC do BIM. Embora focada em projetos de arquitetura, observando as normas de desempenho de edificações habitacionais, a estrutura delineada pode apoiar a decisão em projetos de diferentes tipos e escalas, lidando com a complexidade da sustentabilidade. Além disso, importa observar que a associação do BIM a um método de apoio à tomada decisão colaborativo pode propiciar processos decisórios mais transparentes e facilitar a integração dos pontos de vistas e do consenso entre diferentes intervenientes.

Como contribuições, destaca-se a sistematização de etapas proposta no diagrama enquanto base metodológica replicável, que necessita de testes e refinamentos. Esse artefato tem relevância prática para a atuação profissional, possibilitando orientar processos decisórios de projetos sustentáveis, mas também teórica, por explorar a integração BIM-CBA através da articulação entre atributos mensuráveis, parâmetros normativos e modelagem da informação da construção no contexto brasileiro. Nesse sentido, é possível afirmar que o estudo avança por pensar no contexto das normas brasileiras e por trabalhar com a ideia de

modelagem da informação por meio das propriedades IFC, que não foram mencionadas nos estudos anteriormente destacados (Sahadevan; Varghese, 2019; Vázquez-Rowe *et al*., 2021; Luong-Duc; Do-Duy; Truong-Ngoc, 2024; Momenifar; Chen; Hamzeh, 2024).

Conclui-se que os objetivos foram atendidos, com destaque para a estruturação da proposta (Figura 1). Contudo, são necessários estudos futuros de aplicação e validação da metodologia, por meio de modelagens e simulações. Essa etapa será desenvolvida como parte da pesquisa de mestrado a qual este artigo está vinculado, para validação desses resultados

5 AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro fornecido para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Relatório de Síntese: **Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.** Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations - Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector.** [S.l.]: United Nations Environment Programme, 2024. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45095/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 15 abr. 2025.

SUCCAR, Bilal. **Building Information Modeling:** conceptual constructs and performance improvement tools. 2013. Tese (Doutorado em Construção Civil) – University of Newcastle, Newcastle, 2013. Disponível em: <https://nova.newcastle.edu.au/vital/access/manager/Repository/uon:12462>.Acesso em: 20 mar. 2025.

FONSECA ARENAS, Nathalia; SHAFIQUE, Muhammad. Recent progress on BIM-based sustainable buildings: State of the art review. **Developments in the Built Environment**, v. 15, p. 100176, out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.10017>. Acesso em 29 jun. 2025.

SUHR, Jim. **The Choosing by Advantages Decisionmaking System.** Westport: Quorum, 1999. 293 p.

ARROYO, Paz; TOMMELEIN, Iris Denise; BALLARD, Glenn. Selecting Globally Sustainable Materials: A Case Study Using Choosing by Advantages. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, v. 142, n. 2, fev., 2016a. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001041>. Acesso em 20 mar. 2025.

DING, Xiaosu; PARISH, Kristen. A Proposed Lean Decision-Making Process for Building Energy Retrofits. In: 27TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC). **Proceedings** [...] Dublin, Ireland: 3 jul. 2019. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1706>. Acesso em: 1 jul. 2025

ARROYO, Paz; TOMMELEIN, Iris Denise; BALLARD, Glenn. Comparing AHP and CBA as Decision Methods to Resolve the Choosing Problem in Detailed Design. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 1, p. 04014063, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000915>. Acesso em: 19 mar. 2025.

ARROYO, Paz; TOMMELEIN, Iris Denise; BALLARD, Glenn. Comparing Weighting, Rating and Calculating vs. Choosing by Advantages to Make Design Choices. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., 2014, Oslo. **Proceedings** [...] Oslo: International Group for Lean Construction, 2014, p. 401-412. Disponível em: <https://iglc.net/Papers/Details/992>. Acesso em: 19 mar. 2025.

ARROYO, Paz *et al*. Collaborating in decision making of sustainable building design: An experimental study comparing CBA and WRC methods. **Energy and Buildings**, Amsterdã, v. 128, p. 132-142., set., 2016b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.079>. Acesso em: 19 mar. 2025.

ARROYO, Paz *et al*. Choosing by advantages: A case study for selecting an HVAC system for a net zero energy museum. **Energy and Buildings**, v. 111, p. 26–36, jan. 2016c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.023>. Acesso em: 19 mar. 2025.

ZEULE, Ludimilla de Oliveira *et al*. Decision making process assisted by Life Cycle Assessment: Greenhouse gas emission. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, Ansan, v. 8, n. 2, p. 244–253, jun., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.12972/susb.20170022>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CORREA, María Gabriela *et al*. Comparing Choosing by Advantages and Weighting, Rating and Calculating Results in Large Design Spaces. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION,

25., 2017, Heraklion. **Proceedings** [...] Heraklion, Greece: 9 jul. 2017. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1402>. Acesso em: 25 jun. 2025

WAO, Joel Ochieng. Value Engineering Evaluation Method for Sustainable Construction. In: ARCHITECTURAL ENGINEERING CONFERENCE: RESILIENCE OF THE INTEGRATED BUILDING, 3., 2017, Oklahoma City. **Proceedings** [...] Oklahoma City: American Society of Civil Engineers, 6 abr., 2017. p. 1091 - 1102. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784480502.091>. Acesso em: 25 jun. 2025.

TORP, Olav *et al*. Navigating Sustainability Dilemmas in Decision-Making for Sports Facilities. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1389, n. 1, p. 012007, 1 ago. 2024. Disponível em: < https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1389/1/012007 >. Acesso em: 25 jun. 2025.

CHAUHAN, Krishna *et al*. Deciding Between Prefabrication and On-Site Construction: A Choosing-by-Advantage Approach. In: 27TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC). **Proceedings** [...] Dublin, Ireland: 3 jul. 2019. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1686>. Acesso em: 3 jul. 2025

SAHADEVAN, Vijayalaxmi; VARGHESE, Koshy. AHP and CBA Application to Layout Design: A Case of Classroom Layout Assessment. In: 27TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC). **Proceedings** [...] Dublin, Ireland: 3 jul. 2019. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1704>. Acesso em: 3 jul. 2025

VÁZQUEZ-ROWE, Ian *et al*. A Method to Include Life Cycle Assessment Results in Choosing by Advantage (CBA) Multicriteria Decision Analysis. A Case Study for Seismic Retrofit in Peruvian Primary Schools. **Sustainability**, v. 13, n. 15, p. 8139, 21 jul. 2021. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su13158139>. Acesso em: 25 jun. 2025.

GRANT, Elizabeth J. Research Approaches for Building Enclosure Studies. In: AZARI, Rahman; RASHED-ALI, Hazem (Orgs.). **Research Methods in Building Science and Technology**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 33–49.

AHMED, Shafayet; AROCHO, Ingrid. Implementing a Choosing-by-Advantages Decision-Making Method to Evaluate the Critical Success Factors of Mass-Timber Building Materials in the US. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 148, n. 10, p. 05022010, out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1061(ASCE)CO.1943-7862.0002356>. Acesso em: 25 jun. 2025.

LUONG-DUC, Long; DO-DUY, Linh; TRUONG-NGOC, Son. Combining Building Information Modeling (BIM) and Choosing by Advantages (CBA) to Optimally Select Sustainable Design-Construction Solutions for Building Envelope. In: REDDY, J. N. et al. (Orgs.). **Proceedings of the Third International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture.** Lecture Notes in Civil Engineering. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. v. 442 p. 409–418.

MOMENIFAR, Samaneh; CHEN, Yuxiang; HAMZEH, Farook. A Hybrid Decision Support System for Partition Walls. **Buildings**, v. 14, n. 9, p. 2738, 31 ago. 2024.

ARROYO, Paz *et al*. A new approach for integrating environmental, social and economic factors to evaluate asphalt mixtures with and without waste tires. Ingeniería de Construcción, Santiago, v. 33, n. 3, dez., 2018. Disponível em: <https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000300301&lng=en&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 19 abr. 2025.

ARROYO, Paz; MOLINOS-SENANTE, María. Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach. **Science of The Total Environment**, v. 625, p. 819–827, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.331>. Acesso em: 19 abr. 2025.

TORRES-MACHI, Cristina *et al*. Sustainability Evaluation of Pavement Technologies through Multicriteria Decision Techniques. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 25, n. 3, p. 04019023, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000504>. Acesso em: 19 abr. 2025.

YOON, Soojin; NADERPAJOUH, Nader; HASTAK, Makarand. Decision model to integrate community preferences and nudges into the selection of alternatives in infrastructure development. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1413–1424, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.243>. Acesso em: 19 abr. 2025.

PEREZ, Catalina; ARROYO, Paz. Designing Municipal Waste Management Programs Using Choosing by Advantages and Design Structure Matrix. In: 27TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC). **Proceedings** [...] Dublin, Ireland: 3 jul. 2019. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1705>. Acesso em: 3 jul. 2025.

PÉREZ, Catalina *et al*. Residential curbside waste collection programs design: A multicriteria and participatory approach using choosing by advantages. **Waste Management**, v. 119, p. 267–274, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.055>. Acesso em: 20 abr. 2025.

CHRISTENSEN, Randi. Defining More Sustainable and Innovative Solutions Through Choosing by Advantages. In: 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC). **Proceedings** [...] Edmonton, Canada: 27 jul. 2022. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1990>. Acesso em: 3 jul. 2025.

BHUIYAN, Mohammad M. A.; SULLE, Anthony.; HAMMAD, Ahmad. Application of Choosing by Advantage (CBA) to select most sustainable project, metro extension case study. In: Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference, 6, 2022, Sydney. **Proceedings** [...] Fargo, ND: ISEC Press, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9(1).CPM-03>. Acesso em: 20 abr. 2025.

GOH, Hui Hwang *et al*. Application of choosing by advantages to determine the optimal site for solar power plants. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 4113, 8 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08193-1>. Acesso em: 20 abr. 2025.

AZA, Kevin *et al*. Choosing by Advantages (CBA) to Select the Best Location for a Solar Photovoltaic Plant in the Pre-Feasibility Stage. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), 31., 2023, Lille. **Proceedings** [...] Lille, France: 26 jun. 2023. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/2135>. Acesso em: 3 jul. 2025.

PAGE, Matthew J. *et al*. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **The BMJ**, v. 372, n. 71, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Acesso em: 19. Mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edifcações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:2: Desempenho térmico de Edificações – Parte 2 – Componentes e Elementos Construtivos das Edificações – Resistência e Transmitância.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:3: Desempenho térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático por Desempenho.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-2: Sistema de Classificação da Informação da Construção - Parte 2: Características dos Objetos da Construção.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-7: Sistema de Classificação da Informação da Construção - Parte 7: Informação da Construção.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.