



Carlos Alejandro Díaz Schery

**Modelo de maturidade de BIM combinando
Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens
multicritério**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado
Coorientadora: Prof. Soraida Aguilar Vargas

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2025



Carlos Alejandro Díaz Schery

**Modelo de maturidade de BIM combinando
Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens
multicritério**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Soraida Aguilar Vargas

Coorientadora

UFF

Prof. Paulo Ivson Netto Santos

PUC-Rio

Prof. Cristina Gomes de Souza

CEFET/RJ

Prof. Adauto Farias Bueno

UNEMAT

Rio de Janeiro, 12 de Fevereiro de 2025

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

Carlos Alejandro Díaz Schery

Engenharia Industrial pela Universidade de Holguín (UHO) (2015), Mestrado em Engenharia Industrial pela Universidade de las Tunas (2017), Mestrado em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ficha Catalográfica

Díaz Schery, Carlos Alejandro

Modelo de maturidade de BIM combinando Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens multicritério / Carlos Alejandro Díaz Schery; orientador: Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado; coorientadora: Soraida Aguilar Vargas. – 2025.

238 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) -Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2025.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Modelagem da Informação da Construção. 3. Avaliação de maturidade. 4. Modelo de avaliação. 5. Abordagens multicritério. I. Caiado, Rodrigo Goyannes Gusmão. II. Vargas, Soraida Aguilar. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

A Deus, pelo amparo e bênçãos.

Para minha esposa, Yiselis,

Pelo apoio e confiança.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela força e inspiração que me guiaram ao longo desta jornada acadêmica de pesquisa. "Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu." - Eclesiastes 3:1.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado, expresso minha mais profunda gratidão. Sua orientação dedicada, visão crítica e apoio incondicional foram pilares fundamentais na construção deste trabalho. Sua capacidade de me desafiar intelectualmente, ao mesmo tempo em que me incentivava, foi essencial para o desenvolvimento desta dissertação.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Soraida Aguilar Vargas, sou profundamente grato pelo olhar atento, pelas contribuições indispensáveis e pelo constante estímulo à excelência acadêmica. Sua expertise foi crucial para o aprimoramento de cada etapa desta pesquisa.

Ao Eduardo Thadeu, agradeço pela liderança, pela amizade e pelo suporte contínuo. Estendo minha gratidão a toda a equipe da área BIM do Tecgraf, por serem parte essencial deste sucesso e por compartilharem seus conhecimentos e experiências, que enriqueceram significativamente este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), meu reconhecimento pelo apoio financeiro que viabilizou esta pesquisa, permitindo minha dedicação integral ao mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio, agradeço por sua inestimável contribuição à minha formação acadêmica e ao meu desenvolvimento científico.

Agradeço profundamente à Claudia e à Renata pela paciência e disposição em esclarecer minhas dúvidas, por mais numerosas que fossem. Também expresso minha gratidão aos meus amigos Eduardo Machado e Luiz Felipe Scavarda pelo constante apoio e motivação ao longo dessa jornada.

Aos colegas de turma e de pesquisa, minha gratidão por compartilharem desafios, conhecimentos e momentos de apoio mútuo ao longo desta jornada.

Aos especialistas que gentilmente contribuíram com suas expertises na validação do modelo de maturidade BIM, tornando esta pesquisa mais robusta e significativa, meu muito obrigado.

Por fim, à minha mãe, agradeço pelo apoio incondicional, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo incentivo constante em minha trajetória acadêmica.

"Aqui está o meu segredo. É muito simples: só se vê bem com o coração. O essencial é invisível aos olhos." - Antoine de Saint-Exupéry

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

Resumo

Díaz Schery, Carlos Alejandro; Gusmão Caiado, Rodrigo Goyannes; Aguilar, Soraida Vargas. **Modelo de maturidade de BIM combinando Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens multicritério**. Rio de Janeiro, 2025. 238p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um modelo de maturidade BIM (Modelagem da Informação da Construção) que integra aspectos da Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens multicritério para o setor da construção civil. Através de uma metodologia multimétodo, fundamentada na Design Science Research, o estudo combinou revisão de escopo, análise bibliométrica, modelagem multicritério e coleta extensiva de dados qualitativos mediante entrevistas, questionários e grupos focais com especialistas do setor. A investigação identificou 15 indicadores críticos distribuídos em 6 dimensões fundamentais: Processos, Tecnologia, Pessoas, Organização/Estratégia, Política e Sustentabilidade. A análise envolveu 8 projetos de construção no Brasil, utilizando o método ELECTRE TRI-nC em conjunto com lógica fuzzy para avaliar a maturidade BIM. O modelo proposto estabeleceu 6 níveis de maturidade, desde "Não existe" até "Otimizado", permitindo uma classificação robusta dos projetos analisados. Os resultados indicaram que 87,5% dos projetos se encontram no nível "Integrado" (C3), demonstrando um padrão significativo de desenvolvimento BIM no contexto nacional. O trabalho contribui significativamente para a compreensão e avaliação da maturidade BIM em projetos de construção, oferecendo um framework integrado que considera aspectos de digitalização e sustentabilidade, além de propor estratégias específicas para a evolução entre os níveis de maturidade.

Palavras-chave

Modelagem da Informação da Construção, avaliação de maturidade, modelo de avaliação e abordagens multicritério

Abstract

Díaz Schery, Carlos Alejandro; Gusmão Caiado, Rodrigo Goyannes; Aguilar, Soraida Vargas. **BIM Maturity Model Combining Industry 4.0, Sustainability, and Multicriteria Approaches**. Rio de Janeiro, 2025. 238p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This research proposes the development of a BIM (Building Information Modeling) maturity model that integrates aspects of Industry 4.0, sustainability, and multi-criteria approaches for the construction industry. Through a multi-method methodology, grounded in Design Science Research, the study combined scoping review, bibliometric analysis, multi-criteria modeling, and extensive qualitative data collection through interviews, questionnaires, and focus groups with industry experts. The investigation identified 15 critical indicators distributed across 6 fundamental dimensions: Processes, Technology, People, Organization/Strategy, Policy, and Sustainability. The analysis involved 8 construction projects in Brazil, using the ELECTRE TRI-nC method in conjunction with fuzzy logic to assess BIM maturity. The proposed model established 6 maturity levels, ranging from "Non-existent" to "Optimized," enabling a robust classification of the analyzed projects. The results indicated that 87.5% of the projects are at the "Integrated" level (C3), demonstrating a significant pattern of BIM development in the national context. The work significantly contributes to understanding and evaluating BIM maturity in construction projects, offering an integrated framework that considers digitalization and sustainability aspects, while proposing specific strategies for evolution between maturity levels.

Keywords

Building Information Modeling; Maturity assessment; Assessment model and Multicriteria approaches

Sumário

1 Introdução	15
1.1 Contexto e Motivação	15
1.2 Gaps e questões de pesquisa	18
1.3 Objetivos geral e específicos	20
1.4 Contribuições e originalidade	22
1.5 Estrutura da Dissertação	23
2 Fundamentação teórica	24
2.1 Modelos de Maturidade	24
2.2 Estado da arte de MMB para a I4.0 e sustentabilidade	28
2.2.1 Análise descritiva e bibliométrica de estudos de MM de BIM com I4.0	42
2.2.2 Análise descritiva e bibliométrica de MMB com sustentabilidade	46
2.2.3 Análise de conteúdo dos principais estudos de MMB e I4.0	50
2.2.3.1 Análise de conteúdo dos MMB na indústria	66
2.2.4 Análise de conteúdo dos principais estudos de MMB e sustentabilidade	71
2.3 Modelos de apoio a decisão em MMB	81
3 Metodologia da Pesquisa	92
3.1 Abordagem Multimétodo	92
3.2 Etapas da pesquisa e abordagem de Design Science	95
3.3 Avaliações do Artefato	104
3.4 Métodos de análise de dados	105
3.4.1 Coleta de dados e Construção do questionário	105
3.4.2 Entrevistas individuais	108
3.4.3 Grupo focal	110
4 Resultados	113
4.1 Proposição de modelo de MM de BIM para I4.0 e sustentabilidade	113

4.2 Proposição de modelo de apoio à decisão para medir a MMB	148
4.2.1 Análise Comparativa e Seleção do Método MCDM	148
4.2.2 Justificativa da Seleção do Método ELECTRE TRI-nC com Entropia	150
4.2.3 Ferramenta de apoio à decisão escolhida	151
4.2.3.1 Electre TRI-nC	151
4.2.3.2 Pesos e Normalização	156
4.2.3.3 Teoria Fuzzy e Entropia de Shannon	157
4.2.3.4 Sistemas de Inferência Fuzzy	157
4.3 Aplicação do MMB em projetos de construção no Brasil	159
4.3.1 Contextos da indústria da construção no Brasil e adoção do BIM	160
4.3.2 Avaliações de desempenho em projetos BIM	161
4.4 Dados e Amostra	162
4.4.1 Critérios de Avaliação	162
4.4.2 Tabelas de Desempenho	163
4.4.3 Criterios e Ações de Referência	169
4.4.4 Limiares	171
4.4.5 Relações de superação	172
4.4.6 Procedimentos de Atribuição	174
4.5 Discussão e implicações	175
4.5.1 FCS na Transição da Maturidade BIM	179
5 Conclusões e sugestões para pesquisas futuras	185
5.1 Implicações práticas e teóricas	186
5.2 Limitações do trabalho	186
5.3 Sugestões de trabalhos futuros	186
Referências bibliográficas	188
Apêndices	188
Anexos	235

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Query de busca	32
Tabela 2 – Critérios iniciais de inclusão/exclusão	33
Tabela 3 – Explorando MMB, I4.0 e Sustentabilidade	37
Tabela 4 – A avaliação dos MMB4.0 existentes	52
Tabela 5 – Análise dos critérios de avaliação	54
Tabela 6 – Objetivos da pesquisa sobre o MMB	55
Tabela 7 – Análise de conteúdo dos MMB atuais	58
Tabela 8 – Análise dos MMB na Indústria	67
Tabela 9 – A avaliação dos MMB e sustentabilidade	73
Tabela 10 – Análise dos critérios de avaliação	75
Tabela 11 – Objetivos da pesquisa sobre o modelo de maturidade do BIM	76
Tabela 12 – Análise de conteúdo dos Modelos de Maturidade de BIM atuais	79
Tabela 13 – Critérios de inclusão e exclusão	85
Tabela 14 – Análise de Métodos de Tomada de Decisão Multi-Critério	88
Tabela 15 – Processo DSR para desenvolver o MMB	98
Tabela 16 – Características Profissionais do Painel de Especialistas	107
Tabela 17 – Análise IOC dos Especialistas sobre as Dimensões do MMB	111
Tabela 18 – Comparação de MM–Dimensões, Indicadores e Níveis	116
Tabela 19 – Níveis de maturidade MMB	122
Tabela 20 – Dimensões e indicadores do MMB	125
Tabela 21 – Modelo Conceitual BIM	128
Tabela 22 – MMB para projetos de construção	132
Tabela 23 – Transição entre os Níveis de Maturidade BIM Integrada	138
Tabela 24 – Perspectivas de benchmarking para a tomada de decisões	148
Tabela 25 – Análise das Capacidades de Classificação dos Métodos MCDM	148
Tabela 26 – Definição de Limites para as Relações entre Ações	152
Tabela 27 – Projetos de BIM avaliados	161
Tabela 28 – Critérios, indicadores e preferências de direção correspondentes	162
Tabela 29 – Termos linguísticos para pesos de critérios	164
Tabela 30 – Avaliações brutas dos especialistas	166
Tabela 31 – Desempenho de projetos de construção em critérios de MMB	167

Tabela 32 – Desempenho das ações de benchmark nos critérios	169
Tabela 33 –Thresholds de veto para os critérios de avaliação de MMB	171
Tabela 34 – Relações λ -binárias entre ações e categorias	172
Tabela 35 – Categorias atribuídas para ambas as visões ($\lambda = 0.65$)	173
Tabela 36 – Frequência das categorias para ambas as visões ($\lambda = 0.65$)	173

Lista de Figuras

Figura 1 – Resumo gráfico da pesquisa.	21
Figura 2 – Revisão de Escopo-Prisma.	30
Figura 3 – Produção científica anual.	43
Figura 4 – Autores mais relevantes.	44
Figura 5 – Fontes mais relevantes.	45
Figura 6 – Produção científica anual.	47
Figura 7 – Autores mais relevantes.	48
Figura 8 – Fontes mais relevantes.	49
Figura 9 – Os critérios de avaliação.	71
Figura 10 – Revisão de Escopo-PRISMA.	83
Figura 11 – Etapas da metodologia.	92
Figura 12 – Abordagem de pesquisa na ciência do design	97
Figura 13 – Fluxo de DSR para construção e aplicação do MMB.	100
Figura 14 – MMB desenvolvido.	103
Figura 15 – A estrutura de DCV da relação entre os FCSs e as dimensões	143
Figura 16 –MMB aliado à técnica de apoio à decisão multicritério	145
Figura 17 – Índices de discórdia parcial e de concordância	152
Figura 18 – Fluxograma do método ELECTRE TRI-nC	155
Figura 19 – Função de associação de um número fuzzy triangular	158
Figura 20 – Dashboard de Avaliação de MMB	175

Lista de siglas e acrônimos

MMB - BIM Maturity Models (Modelos de Maturidade BIM)

ODS-SDGs-Sustainable Development Goals (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável)

MCDM/A-Multiple Criteria Decision Making/Aid (Métodos de Apoio Multicritério à Decisão)

I4.0 - Industry 4.0 (Indústria 4.0)

FCS - CSF - Critical Success Factors (Fatores Críticos de Sucesso)

DCV - DCT - Dynamic Capabilities Theory (Teoria das Capacidades Dinâmicas)

DSRM - Design Science Research Model (Modelo de Pesquisa em Design Science)

DSR - Design Science Research (Pesquisa em Design Science)

CDE - Common Data Environment (Ambientes de Dados Comuns)

ABDI-Brazilian Industrial Development Agency (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial)

BIM - Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção)

LCBMM - Lifecycle BIM Maturity Model (Modelo de Maturidade BIM do Ciclo de Vida)

CAQDAS - Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software (Software de Análise de Dados Qualitativos Assistida por Computador)

AMD - MCDA-Multiple Criteria Decision Aid (Apoio Multicritério à Decisão)

Artigos e Produtos Tecnológicos Relacionados à Dissertação

- I. **BIM Critical Factors-Based Framework Towards Digitalization of Construction in the Public Sector**
Schery, C.A.D., Caiado, R.G.G., Vignon, Y.R., Congro, M. and Corseuil, E.T.
Industrial Engineering and Operations Management, Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 315–328
DOI: 10.1007/978-3-031-47058-5_25
- II. **BIM critical factors and benefits for public sector: from a systematic review to an empirical fuzzy multicriteria approach**
Schery, C.A., Vignon, Y., Caiado, R., Santos, R., Congro, M., Corseuil, E. and Roehl, D.
Brazilian Journal of Operations and Production Management, Vol. 20 No. 3 special edition, e20231837
DOI: 10.14488/BJOPM.1837.2023
- III. **Avaliação de Benefícios Da Implementação Do Building Information Modelling (Bim) Em Obras Públicas - Aplicação Do Método Experton**
Díaz Schery, C., Caiado, R., Rodriguez Vignon, Y. and Thomé, A.
DOI: 10.14488/ENEGEP2023_TN_WPG_404_1987_46430
- IV. **BIM e Administração Pública: Redefinindo novos caminhos para inovação**
Roehl, D., Congro, M., Díaz Schery, C., Corseuil, E.T., Dutra, F., Weibull, J. and Caiado, R.
Retina Design, Brazil
ISBN: 978-65-995548-3-4
- V. **Paths to BIM-based digital transformation: a bibliometric and systematic review of critical factors**
Schery, C.A.D., Caiado, R.G.G., Vargas, S.A. and Vignon, Y.R.
Engineering, Construction and Architectural Management, Emerald Publishing Limited, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print
DOI: 10.1108/ECAM-12-2023-1230
- VI. **A Novel BIM Maturity Model Integrating Industry 4.0 and Sustainability: A Design Science Research Approach (Aprovado para publicação)**
Díaz Schery, C.A., Caiado, R., Corseuil, E.T., Ivson, P. and Bueno, A.
Engineering, Construction and Architectural Management
DOI: doi.org/10.1108/ECAM-10-2024-1333
- VII. **Multilevel Analysis of the Scientific Trajectory of BIM: Insights from SciVal and cumulative capability development perspective (Em Revisão)**
Schery, C.A., Caiado, R., Corseuil, E.T., Hugo, N. and Weibull, J.
Engineering, Construction and Architectural Management
DOI: doi.org/10.1108/ECAM-05-2024-0688
- VIII. **A Systematic Review of BIM Maturity Models: Integrating Industry 4.0 and Sustainability in the Construction Sector (Em Revisão)**
Schery, C.A., Caiado, R., Corseuil, E.T. and Hugo, N.
Construction Innovation: Information, Process, Management
DOI: doi.org/10.1108/CI-10-2024-0305
- IX. **From pre-design to operation: a scoping review and bibliometric analysis of productivity metrics using BIM in building projects (Aprovado para publicação)**
Dutra, F., Schery, C.A., Caiado, R., Congro, M., Corseuil, E.T. and Thomé, A.
The Open Construction and Building Technology Journal
- X. **MAFE-Tri (Maturity Assessment with Fuzzy & Entropy in ELECTRE-Tri-nC)**
Díaz Schery, C. A.; Silva Santos, R.; Goyanne Gusmão Caiado, R.; Leite Corseuil, E. T.; Aguilar Vargas, S.; Rodriguez Vignon, Y
Zenodo
DOI: 10.5281/ZENODO.14993371

1

Introdução

A construção civil é uma indústria que precisa se adaptar às novas demandas e desafios do século XXI, buscando formas de tornar seus processos e produtos mais sustentáveis, eficientes e inovadores(ZAIRUL e ZAREMOHZZABIEH, 2023). Para isso, pode contar com o apoio da transformação digital, que é o processo de integração de tecnologias digitais em todos os aspectos e operações da indústria da construção, visando aumentar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade. Essas tecnologias podem incluir, por exemplo, a internet das coisas, a inteligência artificial, a realidade aumentada, a impressão 3D, os drones, os sensores, os softwares de simulação e análise, entre outras (OLANIPEKUN e SUTRISNA, 2021). Uma das metodologias que pode auxiliar a transformação digital na construção é o BIM (Building Information Modeling), que envolve várias ferramentas, tecnologias e contratos para a geração e gestão de representações digitais das características físicas e funcionais de construções (OMER *et al.*, 2022).

1.1

Contexto e Motivação

O desenvolvimento sustentável da construção é um desafio que exige a implementação de metodologias, tecnologias e padrões que permitam otimizar o uso de recursos, reduzir o impacto ambiental e melhorar a qualidade das edificações (HOSSAIN *et al.*, 2020).

O BIM permite criar modelos virtuais tridimensionais e inteligentes dos edifícios, que contêm informações detalhadas e atualizadas sobre todos os seus componentes e sistemas, desde a fase de concepção até a de operação e manutenção (MIETTINEN e PAAVOLA, 2014). Também pode melhorar a qualidade e a rentabilidade dos projetos e produtos, evitar perdas de tempo e de material, reduzir erros e inconsistências, otimizar processos e fluxos de trabalho, aumentar a transparência e a confiabilidade das informações, facilitar a tomada de decisões e a

comunicação, proporcionar maior valor agregado aos clientes (OTHMAN *et al.*, 2021). Além disso, RAHIM *et al.* (2023) e WANG *et al.* (2022) destacam que BIM pode contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, ao permitir o desenvolvimento de um fluxo de trabalho e tecnologias mais sustentáveis. Esta capacidade alinha-se tanto com os princípios da Indústria 4.0 (I4.0), período industrial atual, quanto com a emergente "Indústria 5.0" (I5.0) - novo paradigma proposto pela Comissão Europeia (EC, 2021) que enfatiza a sustentabilidade e o foco humano na transformação digital. A integração do BIM com estas duas abordagens industriais permite uma transição fluida entre os paradigmas tecnológicos atuais e futuros, garantindo sua relevância contínua no desenvolvimento da construção civil. A I5.0 busca integrar tecnologias resilientes, sustentáveis e centradas no ser humano, conceitos organizacionais e princípios de gestão para projetar e gerenciar sistemas de valor eficientes, responsivos, resilientes, sustentáveis e centrados no ser humano nos níveis de ecossistemas, cadeias de suprimentos, instalações de manufatura e logística. Esses sistemas são orientados por dados dinâmicos e estruturais adaptáveis às mudanças no ambiente de demanda e oferta, assegurando o fornecimento à sociedade de produtos e serviços de maneira sustentável e centrada no ser humano, por meio do rearranjo rápido e realocação de seus componentes e capacidades (IVANOV, 2023). Os objetivos ODS#8, ODS#9 e ODS#13 da agenda 2030 têm como foco o trabalho decente e crescimento econômico; indústria, inovação e infraestrutura, e ação climática, respectivamente. O uso do BIM desempenha um papel crucial ao alinhar-se com esses objetivos. Em primeiro lugar, o BIM simplifica todos os estágios de um projeto de construção, desde o planejamento até a execução e manutenção, reduzindo custos, prazos e riscos, e elevando a qualidade e desempenho das edificações, conforme mencionado no ODS#8 (UN, 2018).

Além disso, o BIM possibilita a integração das informações de infraestrutura em um modelo digital, o que facilita sua gestão, operação e adaptação às mudanças, atendendo o ODS#9. Da mesma forma, o BIM simplifica a análise do ciclo de vida de edificações e infraestruturas, otimizando o uso de recursos naturais, minimizando o desperdício e a geração de resíduos, e promovendo soluções baseadas na natureza, em conformidade com o ODS#13. Por essas razões, o BIM é considerado uma ferramenta fundamental para a sustentabilidade da construção no contexto atual (UN, 2018).

Nesse sentido, o uso da metodologia BIM pode ser uma ferramenta estratégica para alcançar esses objetivos, pois permite a otimização do uso de recursos e o aprimoramento da eficiência energética das edificações (DATTA *et al.*, 2023), mas também traz benefícios para a sociedade e o meio ambiente, alinhando-se com as dimensões da sustentabilidade que fazem parte do paradigma da I5.0 (MUSARAT *et al.*, 2023). No entanto, para aproveitar ao máximo o potencial do BIM, é necessário avaliar o nível de adoção e implementação dessa metodologia ao analisar os projetos das organizações dentro da indústria da construção. Para isso, existem diferentes modelos de maturidade BIM (BIM maturity models - MMBs), que permitem medir o grau de desenvolvimento e integração do BIM em diferentes aspectos, tais como processos, tecnologias, pessoas e políticas (SIEBELINK *et al.*, 2018).

Diferentes MMBs foram introduzidos para medir a maturidade BIM no contexto da indústria da construção (SMITS *et al.*, 2017a). Juntos, os MMBs foram refinados para diferentes organizações, incluindo clientes, construtoras e escritórios de arquitetura (SHIROWZHAN *et al.*, 2020). Os modelos de maturidade oferecem a vantagem de melhorar o controle e a previsibilidade de cumprir os objetivos de tempo, custo e desempenho (JOBLOT *et al.*, 2019). Apesar dessas vantagens, a literatura que examina os MMBs na prática é limitada (ALANKARAGE *et al.*, 2022a). A evolução da implementação dos modelos de maturidade do BIM no setor de construção tem acompanhado as tendências de transformação digital (MARINELLI, 2023).

Segundo alguns autores (ALANKARAGE *et al.*, 2022a; MARINELLI, 2023; SAIEG *et al.*, 2018), os MMBs que avaliam a sustentabilidade demonstram uma dupla integração tecnológica: por um lado, o BIM incorpora conceitos fundamentais da I4.0, como interoperabilidade e virtualização, enquanto por outro lado, emprega estas tecnologias avançadas para promover a sustentabilidade e a eficiência na construção. Esta abordagem híbrida não apenas atende aos requisitos da I4.0, mas também se alinha naturalmente com os princípios da I5.0, que prioriza a sustentabilidade e o impacto social positivo na transformação digital da construção. A revisão bibliográfica de ALANKARAGE *et al.* (2022a) fornece uma visão geral das ferramentas de maturidade BIM, analisando nove modelos em termos de seu conteúdo e estrutura básica. DAKHIL *et al.* (2015) analisa diversos MMBs para encontrar um modelo adequado para medir a maturidade BIM

exclusivamente em organizações consumidoras. Nenhum desses estudos investiga áreas de aplicação de MMBs que integrem simultaneamente os conceitos da I4.0 e da I5.0, especialmente no que diz respeito à sustentabilidade e à transformação digital centrada no ser humano. Esta lacuna é particularmente relevante considerando a transição atual entre estes paradigmas industriais e a necessidade de modelos de maturidade que possam avaliar tanto as capacidades tecnológicas quanto os aspectos sustentáveis dos projetos de construção.

Como um campo emergente, a maturidade BIM ainda não é totalmente compreendida (LU *et al.*, 2021), requer, portanto, mais pesquisas científicas. A literatura dispersa sobre BIM e sua relação com os paradigmas da I4.0 e I5.0 precisa ser consolidada em um único estudo para fornecer recomendações abrangentes de como melhorar a prática do modelo de maturidade. Como argumentado por autores como DING *et al.* (2019), LI *et al.* (2022) e OLIVEIRA (2022), um novo modelo de maturidade BIM para construção deve abordar tanto aspectos tecnológicos da I4.0, como integração digital e automação de processos, quanto elementos fundamentais da I5.0, como sustentabilidade e centralidade humana na transformação digital. Além disso, a sustentabilidade desempenha um papel vital, exigindo que a construção civil adote materiais e processos que minimizem o impacto ambiental. A necessidade de um novo modelo de maturidade de BIM sob a perspectiva da transformação digital sustentável é um tema emergente na pesquisa.

1.2

Gaps e questões de pesquisa

Existem diversos modelos de maturidade (MM) de BIM propostos na literatura (CHONG *et al.*, 2017; EDIRISINGHE *et al.*, 2021; FERRAZ *et al.*, 2020; LIANG *et al.*, 2016), os modelos tradicionais de maturidade do BIM concentram-se nos aspectos técnicos, como a troca de dados e colaboração. Entretanto, poucos estudos recentes de BIM abordam de maneira abrangente e estratégica os aspectos relacionados à transformação digital na transição entre a I4.0 e a I5.0 (DEMIRKESEN e TEZEL, 2022; WONG *et al.*, 2023). Esta lacuna é particularmente significativa considerando que a evolução do BIM precisa acompanhar não apenas os avanços tecnológicos da I4.0, mas também incorporar os princípios de sustentabilidade e humanização característicos da I5.0. Apesar dos

avanços na implementação do BIM, ainda existem desafios significativos na integração completa com as tecnologias da Indústria 4.0, criando um gap que impede a plena incorporação dos princípios da Indústria 5.0 na prática. Diante disso, surge a necessidade de um novo modelo de maturidade de BIM que leve em consideração esses aspectos fundamentais da quarta revolução industrial e integre os princípios da quinta revolução industrial. Tal modelo deve ser capaz de orientar as organizações e projetos na transição para uma nova era digital na construção civil, promovendo a sustentabilidade e a humanização (FRANZ e MESSNER, 2019). Levando em consideração o exposto anteriormente, é realizada a seguinte pergunta de pesquisa.

- QP1. Qual o estado da arte de MM de BIM para transformação digital no contexto da I4.0?

Além disso, ao trabalhar em prol da sustentabilidade, o BIM pode ser usado para facilitar as informações do projeto (CHONG *et al.*, 2017). Embora para melhorar o desempenho ambiental, social e econômico dos projetos de construção, é necessária uma gestão eficiente e coordenada das informações ao longo de todo o ciclo de vida do ativo, desde o design até a demolição (EDIRISINGHE *et al.*, 2021; SFAKIANAKI, 2018). Segundo JOBLOT *et al.* (2019) um modelo de maturidade BIM bem projetado pode ajudar a impulsionar a inovação e a competitividade no setor, incentivando a aprendizagem contínua e a colaboração entre os participantes. Portanto, é necessário um modelo de maturidade BIM que permita avaliar o nível de implementação e uso do BIM nos projetos, bem como identificar áreas de melhoria e benefícios potenciais para a sustentabilidade.

Neste contexto, considerando a necessidade de um novo modelo de maturidade do BIM que auxilie na sustentabilidade, é definida a seguinte questão de pesquisa -

QP2. Qual o estado da arte de MM de BIM para sustentabilidade da indústria da construção?

O BIM é complementado com informações de várias disciplinas de forma mais rápida e precisa, o que afeta a avaliação (KIM *et al.*, 2015). Surge, então, o questionamento de como integrar e usar o BIM para facilitar o processo de tomada de decisões. Diante disso, o enfoque do MCDM/A (Métodos de Apoio Multicritério a Decisão) permite a integração de informações técnicas e o valor de múltiplas partes interessadas nos processos de tomada de decisão baseados em BIM. A

literatura revela numerosos estudos que utilizam MCDM para modelos de maturidade (JALILZADEHAZHARI e JOHANSSON, 2019; TABATABAEE *et al.*, 2021; ZAKERI *et al.*, 2023). No entanto, não existem muitos estudos de MMB ou de nível de prontidão (readiness) para BIM com modelos de apoio a decisão (ABBASIANJAHROMI *et al.*, 2019; DANG *et al.*, 2020). Considerando o exposto anteriormente, formulou-se a seguinte pergunta de pesquisa -

- QP3. Que modelos de apoio à decisão podem ser utilizados para avaliar a maturidade de BIM?

1.3

Objetivos geral e específicos

A necessidade atual de um novo modelo de maturidade BIM surge da constatação de que os modelos existentes não abordam adequadamente a transformação digital sustentável (GRABOWSKA *et al.*, 2022) na construção. Esta transformação visa conciliar a inovação tecnológica com os aspectos da sustentabilidade e da centralidade humana (ALVES *et al.*, 2023). Além disso, a combinação do MMB com métodos de apoio à decisão pode permitir uma avaliação mais holística e balanceada, permitindo discriminar melhor a maturidade das empresas, além de fornecer diretrizes prescritivas para a tomada de decisão. Portanto, um novo modelo de maturidade BIM prescritivo pode orientar empresas e profissionais na adoção do BIM, fornecendo diretrizes para alcançar os objetivos desejados.

Desse modo, é definido como objetivo geral desenvolver um novo modelo de maturidade BIM combinando aspectos da Indústria 4.0 e sustentabilidade, aplicando modelos de apoio à decisão.

Em resposta ao objetivo geral estabelecido, foram definidos os seguintes objetivos específicos -

OE1) Verificar os modelos de maturidade BIM existentes na literatura

OE2) Estruturar um modelo de maturidade BIM utilizando modelos de apoio à decisão

OE3) Aplicar e validar o modelo proposto em casos múltiplos.

OE4) Especificar ações em cada nível de transição para alcançar a maturidade de BIM

A Figura 1 mostra o resumo gráfico da pesquisa.

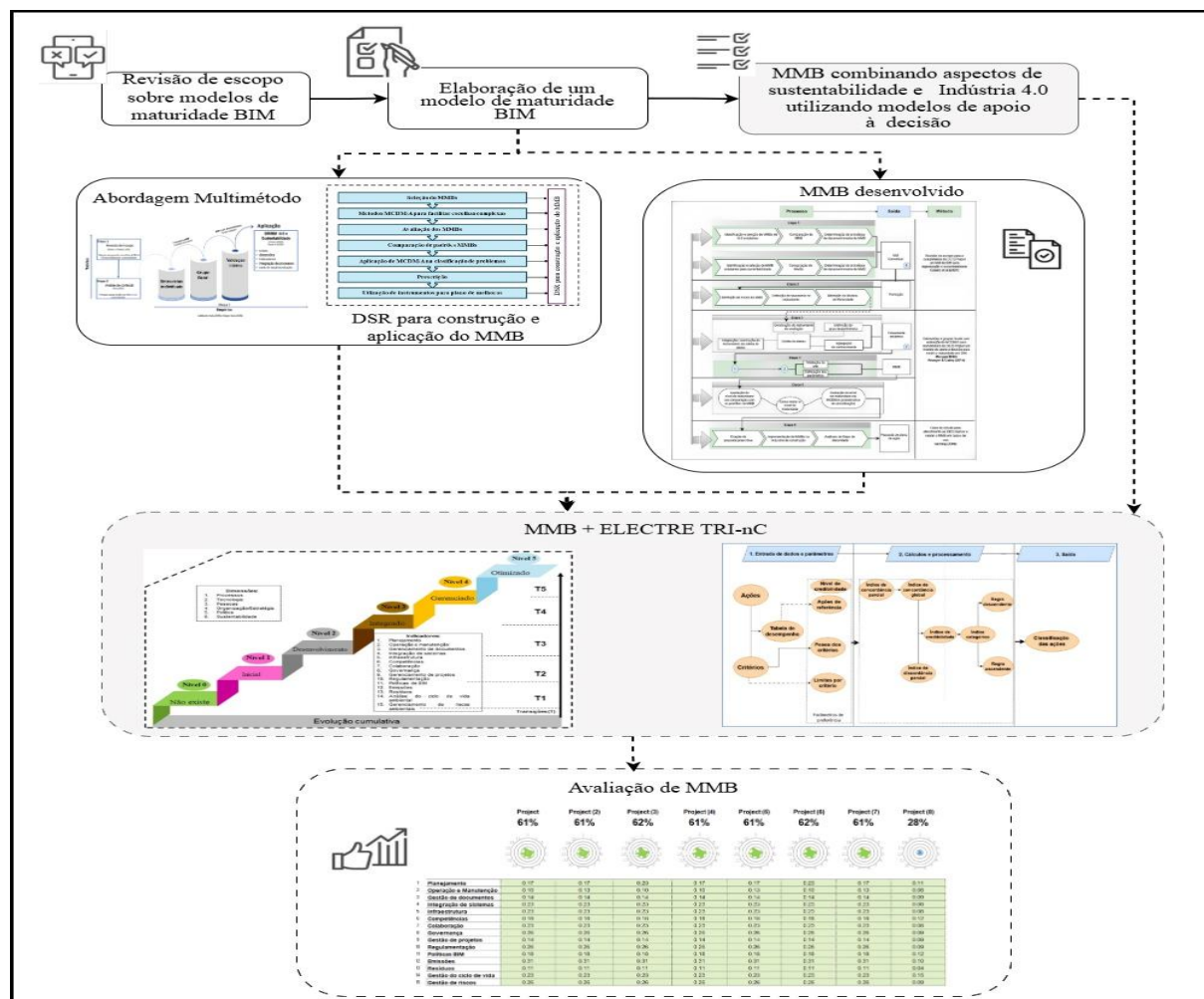


Figura 1 – Resumo gráfico da pesquisa. Fonte - Elaborado pelo Autor.

1.4

Relevância e originalidade

Na pesquisa são apresentadas contribuições em diversos aspectos importantes. Primeiramente, apresentam uma contribuição prática para a indústria da construção e gestores por meio de um novo artefato e ferramenta de apoio à decisão. Essa ferramenta visa tornar o planejamento, execução e gerenciamento de projetos de construção civil mais eficiente, utilizando BIM e MCDM. Além disso, oferecem uma contribuição teórica ao explorar as possibilidades de integrar BIM, sustentabilidade e I4.0 para melhorar os processos e resultados na construção civil.

Um aspecto relevante é a criação de um modelo de maturidade de BIM específico para o setor público, considerando suas particularidades em relação ao setor privado, como processos de contratação, requisitos de transparência, prestação de contas e a necessidade de padronização para projetos de grande escala. Este direcionamento responde às demandas únicas da gestão pública na implementação do BIM, que difere do setor privado em aspectos regulatórios, escala de operação e objetivos institucionais. Esta contribuição política pode ajudar os gestores públicos a alinharem o uso de BIM com as diretrizes da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Além disso, foram integrados de forma inovadora os conceitos de BIM e o paradigma da I5.0. Esta iniciativa combina uma abordagem prescritiva e a teoria das capacidades dinâmicas (DCV) para definir estratégias que facilitem o avanço entre os níveis de maturidade, desde a melhoria da infraestrutura tecnológica até a promoção de uma cultura organizacional inovadora e sustentável. As ações específicas são adaptadas, refletindo as necessidades em constante mudança na integração digital e sustentabilidade.

Dessa forma, os processos e resultados na construção civil são melhorados através de caminhos detalhados que permitem às organizações evoluírem sua implementação de BIM em duas dimensões complementares: primeiro, aproveitando as tecnologias digitais e automação característicos da Indústria 4.0, e segundo, incorporando progressivamente os princípios da Indústria 5.0, como sustentabilidade e centralidade humana. Esta abordagem dual garante que a evolução tecnológica do BIM acompanhe a transição entre os paradigmas industriais, estabelecendo bases sólidas na I4.0 enquanto se prepara para os desafios da I5.0. Por outro lado, é fornecida uma visão geral dos Fatores Críticos

de Sucesso, bem como exemplos concretos de ações em cada nível de transição para a maturidade de BIM, transformação digital e sustentabilidade, servindo como um guia útil para identificar e priorizar esses fatores ao longo do processo de implementação integrada de forma mais eficaz.

Por fim, a combinação entre BIM, I4.0 e sustentabilidade representa uma mudança radical na forma como os edifícios são projetados, construídos e gerenciados, apresentando uma proposta inovadora para melhorar o setor público da construção.

1.5

Estrutura da Dissertação

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro é a introdução, em que o objetivo da pesquisa e as questões de pesquisa foram apresentadas. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica e revisão da literatura de MMBs à luz das perspectivas da I4.0 e sustentabilidade, alinhada com a Agenda 2030. O terceiro capítulo detalha a metodologia multimétodo de Design Science utilizada para projetar e desenvolver o artefato proposto, bem como o processo de construção do MMB, percorrendo todas as etapas de execução para a elaboração dos níveis, com explicações e definições para compreender o modelo empregado. O quarto capítulo apresenta o modelo desenvolvido, baseado na técnica MCDM, para o problema proposto. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões deste estudo, juntamente com considerações finais e diretrizes para pesquisas futuras.

Fundamentação teórica

Nesta pesquisa, realizou-se uma ampla revisão de escopo centrada nos Modelos de Maturidade BIM na Transformação Digital e Sustentabilidade. Além disso, foram explorados Modelos de Apoio à Tomada de Decisão considerando o contexto dos Modelos de Maturidade BIM.

2.1

Modelos de Maturidade

Os modelos de maturidade são uma ferramenta que permite às organizações avaliar seu estado atual, definir seu estado desejado e traçar um plano de ação para alcançá-lo (BECKER *et al.*, 2009). A maturidade é um conceito que descreve o desenvolvimento gradual de sistemas e processos de gestão de projetos, podendo ser usado para avaliar as capacidades de uma organização e fornecer um caminho para a melhoria (PENNYPACKER e GRANT, 2003).

Os modelos de maturidade têm como objetivo demonstrar o nível de maturidade de um indivíduo ou entidade (GÖKALP *et al.*, 2017) e ajudá-los a alcançar um nível mais sofisticado de maturidade após um processo de melhoria contínua (MITTAL *et al.*, 2018). Os modelos de maturidade e avaliações de preparação são ferramentas valiosas para determinar o nível de desenvolvimento de uma organização e ajudá-la a melhorar (CAIADO *et al.*, 2021). Os termos 'preparação' e 'maturidade' são relativos e relacionados (DE CAROLIS *et al.*, 2017). As avaliações de preparação são ferramentas de avaliação para analisar e determinar o nível de preparação, atitudes e recursos em todos os níveis de um sistema (MITTAL *et al.*, 2018), onde os modelos de preparação esclarecem se a organização está pronta para iniciar o processo de desenvolvimento ou não (AKDIL *et al.*, 2018).

Existem diversos modelos de maturidade, cada um com características e contextos de aplicação distintos, que podem ser empregados para descrever, prescrever ou comparar mediante o uso de questionários e arquiteturas variadas. Por exemplo, temos o Modelo de Maturidade de Processos de Negócio (BPMM) de DE BRUIN *et al.* (2005), o Modelo de Maturidade de Capacidade (CMM) de

PAULK *et al.* (1993), o Modelo de Maturidade de Infraestrutura Ágil (AIMM) de O'DONOVAN *et al.* (2016), e o Modelo de Maturidade de Gestão de Projetos Organizacionais (OPM3) de GUANGSHE *et al.* (2008). Cada um desses modelos possui benefícios, desvantagens e particularidades próprias, além de requerer um método específico de avaliação e implementação.

Alguns autores de destaque que contribuíram são PAULK *et al.* (1993) com o CMM; ROSEMAN e DE BRUIN (2005) com um modelo de gestão de processos; O'REILLY (2007) com críticas e alternativas flexíveis; e METTLER *et al.* (2010) com uma revisão sistemática de modelos. Os modelos de maturidade são usados para benchmarking, melhoria contínua e tomada de decisões estratégicas (MARX *et al.*, 2012).

Os modelos de maturidade são amplamente utilizados em diversas disciplinas para medir e melhorar a capacidade de uma organização ou sistema, baseando-se no princípio de que a qualidade e o desempenho dependem da aprendizagem, adaptação e evolução (METTLER *et al.*, 2010). Esses modelos definem níveis que representam boas práticas e metas estratégicas (PAULK *et al.*, 1993; TEAM, 2002), facilitando o reconhecimento de pontos fortes e fracos, o desenho de planos de ação e o progresso para níveis superiores (ROSEMAN e DE BRUIN, 2005), promovendo, assim, a melhoria contínua e a transformação digital (O'REILLY, 2007).

Os modelos de maturidade geralmente compartilham características comuns, incluindo - (i) fases de maturação claramente definidas; (ii) a atribuição de um nome distintivo a cada fase; (iii) a possibilidade de serem avaliados; (iv) a implementação de ações específicas para cada domínio; e (v) uma descrição detalhada dessas ações em cada estágio de desenvolvimento (COLQUHOUN *et al.*, 2014). Esses elementos permitem compreender e medir o progresso por meio de diferentes níveis de capacidade e sofisticação. Modelos de maturidade bem projetados fornecem um roteiro útil para que as organizações melhorem sistematicamente nas áreas-chave que o modelo aborda (FRASER *et al.*, 2002; RÖGLINGER *et al.*, 2012; DE CAROLIS, A. *et al.*, 2017).

2.1.1 Modelos de Maturidade de BIM na Transformação Digital

A transformação digital é essencial na indústria da construção, incorporando tecnologias e aprimorando processos (KUDRYAVTSEVA *et al.*, 2020). A

adoção do BIM impulsiona essa transformação, sendo o BIM um elemento-chave para avaliar a maturidade do modelo, que se refere à qualidade e uso da informação no projeto (PÖPPELBUSS e RÖGLINGER, 2011). Os modelos de maturidade BIM não apenas avaliam o nível de maturidade de uma organização, mas também orientam a implementação do BIM e permitem medir o estado atual da implementação, planejando melhorias (JUNG e LEE, 2016; LIMA *et al.*, 2021).

À medida que as organizações avançam na maturidade BIM, melhoram eficiência e qualidade com colaboração digital, fluxos de trabalho integrados e automação (SUN *et al.*, 2021). Os modelos de maturidade BIM ajudam as empresas a avaliar sua capacidade atual, identificar lacunas e maximizar o valor dos investimentos em tecnologia (GIEL e ISSA, 2016).

Os modelos de maturidade BIM desempenham um papel crucial na transformação digital na construção, permitindo o aprimoramento de processos (AKDIL *et al.*, 2018) e possibilitando alcançar maior maturidade de modelo com modelos 3D inteligentes (JUNG *et al.*, 2020). A metodologia BIM é uma ferramenta multifuncional que facilita o planejamento, detecção de conflitos, estimativas de custos e análise do ciclo de vida (DE CAROLIS *et al.*, 2017), central na transformação digital ao automatizar processos e otimizar a gestão da informação entre disciplinas (STOJANOVSKA-GEORGIEVSKA *et al.*, 2022). A adoção generalizada do BIM é fundamental para aproveitar plenamente os benefícios da era digital (ZAKERI *et al.*, 2023).

Autores aprofundam o papel dos modelos de maturidade na modelagem de processos e informações. FLECHSIG *et al.* (2022) apresenta o modelo "BPMMxIT" para avaliar o desempenho na transformação digital. STOJANOVSKA-GEORGIEVSKA *et al.* (2022) foca na adoção do BIM, apresentando o estado atual em Macedônia do Norte propondo um roteiro. SUN *et al.* (2021) propõem um modelo de maturidade BIM para avaliar qualidade e uso da informação em projetos. SUCCAR e KASSEM (2015) classificam atores envolvidos na disseminação do BIM e propõem um modelo de adoção do BIM em todos os mercados. ROSSANA (2019) descreve níveis de maturidade BIM com base na colaboração e ferramentas na cadeia de suprimentos.

2.1.2 Modelos de Maturidade de BIM para Desenvolvimento Sustentável

A sustentabilidade na indústria da construção é um processo holístico com o objetivo de reduzir o impacto no meio ambiente, nas esferas social e econômica (DONG *et al.*, 2023). Esse enfoque se baseia em três pilares principais - proteger o meio ambiente, promover a equidade social e promover a prosperidade econômica (PURVIS *et al.*, 2019). Apesar dos desafios, alcançar a sustentabilidade na indústria da construção é uma valiosa oportunidade para transformar a indústria em uma mais eficiente, responsável e justa (OKOYE *et al.*, 2021). A aplicação de práticas sustentáveis na arquitetura pode desempenhar um papel importante na configuração de um futuro sustentável que beneficie a sociedade como um todo (LAMI; MECCA, 2021).

O BIM está se consolidando como um aliado essencial na promoção do desenvolvimento sustentável na indústria da construção (CHANG e HSIEH, 2020). A razão fundamental reside em sua capacidade de avaliar o impacto ambiental de um projeto, bem como otimizar a gestão de recursos, reduzir a geração de resíduos e promover a colaboração entre os diversos atores envolvidos na construção (IRIZARRY *et al.*, 2012). Para alcançar uma melhoria constante nos processos de construção sustentável, é essencial o desenvolvimento de MM que integrem a sustentabilidade e a integração do BIM como critérios fundamentais de avaliação e melhoria (WAGIRE *et al.*, 2021).

Esses MM não se limitam à mera identificação de pontos fortes e áreas de melhoria em relação à sustentabilidade e à integração do BIM, mas permitem que as organizações abordem a sustentabilidade de maneira abrangente, incluindo o ciclo de vida completo em suas estratégias de desenvolvimento, e facilitam a formulação de planos de ação específicos para alcançar níveis superiores de desempenho de maneira eficaz (KOLUKISA TARHAN *et al.*, 2020; MAHMOUD *et al.*, 2019). Alguns exemplos de MM que combinam sustentabilidade e BIM incluem o trabalho de EDIRISINGHE *et al.* (2021) que aborda as limitações dos modelos existentes e propõe um Modelo de Maturidade BIM do Ciclo de Vida (LCBMM) que considera o ciclo de vida completo dos ativos, incluindo a fase de operações. CHONG *et al.* (2017) destaca a necessidade de ferramentas BIM para avaliar critérios de sustentabilidade e melhorar a interoperabilidade com ferramentas de simulação energética. FERRAZ *et al.* (2020) analisa a avaliação de modelos de prontidão e maturidade alinhados com perspectivas estratégicas, fornecendo uma

forma simplificada para que as empresas identifiquem o modelo mais adequado para a etapa do ciclo de vida de seu edifício. LIANG *et al.* (2016) contribui desenvolvendo um modelo de maturidade BIM multifuncional que reconhece e mede a maturidade BIM em diferentes unidades de análise. LEI e DONG (2023) apresenta um modelo de avaliação da sustentabilidade de edifícios com base na análise do ciclo de vida e na tecnologia BIM. Isso permite uma avaliação abrangente da sustentabilidade e promove o desenvolvimento sustentável na arquitetura.

Esses estudos e propostas de novos modelos desempenham um papel crucial ao alinhar de forma mais eficaz as abordagens de maturidade BIM com uma perspectiva integral de sustentabilidade, abrangendo todo o ciclo de vida e permitindo análises multifuncionais. No entanto, desafios notáveis persistem em relação à integração de ferramentas especializadas e à necessidade de validar empiricamente esses modelos em diversos contextos (HÄKKINEN e BELLONI, 2011). É essencial continuar avançando nessas áreas para desenvolver modelos de maturidade BIM sólidos que incorporem adequadamente as considerações de sustentabilidade.

2.2

Estado da arte de MM de BIM para a I4.0 e sustentabilidade

Foi realizada uma revisão de escopo, também conhecida como mapeamento da literatura. Essa técnica visa avaliar de maneira abrangente e eficiente o conhecimento existente sobre um tema específico (NASCIMENTO *et al.*, 2022), resumindo aspectos complexos e heterogêneos para facilitar a identificação de lacunas na pesquisa.

A presente revisão de escopo, realizada como primeira etapa desta pesquisa, objetiva mapear o conhecimento já consolidado sobre os modelos de MM de BIM para a digitalização e sustentabilidade levando em consideração o desenvolvimento da estrutura conceitual (DI PASQUALE *et al.*, 2020). A pesquisa foi conduzida conforme as etapas expostas na Figura 2, a saber (ARKSEY e O'MALLEY, 2005) - (1) formulação das perguntas de pesquisa; (2) identificação dos estudos potencialmente elegíveis; (3) seleção e avaliação crítica quanto à elegibilidade dos estudos localizados; (4) analisar e resumir artigos selecionados, apresentando os resultados-chave em um relatório temático.

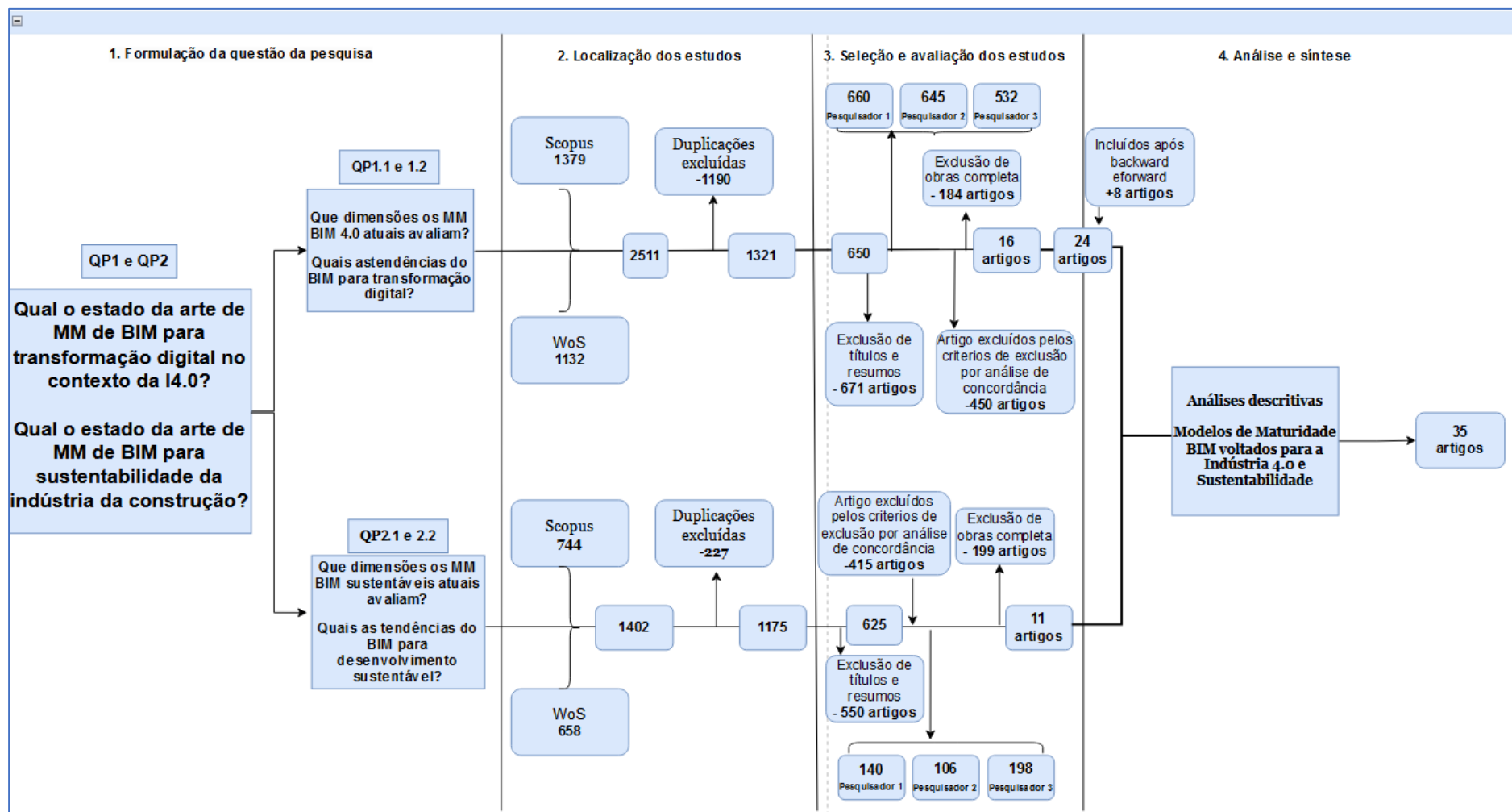


Figura 2 - Revisão de Escopo-Prisma. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

Os seguintes passos foram seguidos para realizar uma pesquisa abrangente sobre I4.0 e sustentabilidade relacionadas ao desenvolvimento dos MM de BIM no setor público -

Revisão de literatura sobre I4.0 -

- Compilar e reunir fontes confiáveis que forneçam perspectivas sobre os desafios na aplicação de I4.0 em MM de BIM.
- Distinguir e classificar os diversos MMBs na era da I4.0.

Revisão da literatura sobre Sustentabilidade -

- Obter informações relevantes de fontes confiáveis sobre aspectos de sustentabilidade em MM de BIM.
- Distinguir e classificar os diversos MMBs sustentáveis.

O ponto de partida foi estabelecer as questões de pesquisa (QP1 e QP2) e o propósito deste estudo é o (O1), conforme delineado na seção 1.3. O passo seguinte envolveu a busca bibliográfica, por meio da escolha de bases de dados relevantes e determinação de termos-chave essenciais, o que é crucial para uma revisão ampla e imparcial.

As bases de dados utilizadas foram Scopus e Web of Science (WoS) devido à sua complementaridade e completude (CHADEGANI *et al.*, 2013; MONGEON e PAUL-HUS, 2016). A pesquisa foi realizada utilizando os termos "Building Information Model*", "maturity" e "readiness" no título, resumo e palavras-chave dos artigos. Para identificar estudos associados à Indústria 4.0, foram adicionados os conceitos "Industry 4.0", "Fourth Industrial Revolution" e "Industry 5.0", conectados pelo operador booleano AND e OR. A junção das buscas entre o Modelo de Maturidade BIM e o Modelo de Maturidade da I4.0 na pesquisa pode ser justificada pela necessidade de compreender como as organizações na indústria da construção podem se adaptar à era digital. Enquanto o MMB oferece um quadro para avaliar e aprimorar as capacidades de modelagem de informação de construção, crucial na era da digitalização, o MM da I4.0 proporciona uma visão mais abrangente sobre como as organizações podem adotar e se adaptar às tecnologias emergentes que caracterizam a quarta revolução industrial. Em contrapartida, o MM da I4.0 oferece uma visão mais ampla de como uma organização pode adotar e se adaptar às tecnologias emergentes que caracterizam a quarta revolução industrial. Por outro lado, para recuperar pesquisas centradas na

sustentabilidade, foram utilizados os termos "Building Information Model*", "maturity" e "readiness" juntamente com "sustainab*", "environment*" e "green". Dessa forma, foram localizados artigos que abordavam a maturidade e a prontidão para a adoção do BIM em relação tanto à Indústria 4.0 quanto à sustentabilidade ambiental. O uso de operadores booleanos e a seleção de palavras-chave relacionadas aos temas de interesse permitiram limitar os resultados a estudos altamente relevantes para a análise. Além disso, a busca foi limitada às áreas de engenharia e ciências ambientais através das opções de filtragem disponíveis nas bases de dados. Dessa forma, a query de busca permitiu identificar artigos relevantes sobre modelos de maturidade BIM relacionados à sustentabilidade e meio ambiente nas áreas de engenharia e ciências ambientais, conforme explicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Query de busca

Banco de dados		Palavras-chave
BIM Maturity Model I4.0	Scopus	TITLE-ABS-KEY ("maturity" OR "readiness") AND (("BIM" OR "Building Information Model*") OR ("Industry 4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Industry 5.0" OR "digitisation" OR "digitalisation"))
	WoS	TS=("maturity" OR "readiness") AND (("BIM" OR "Building Information Model*") OR ("Industry 4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Industry 5.0" OR "digitisation" OR "digitalisation"))
BIM Maturity Model for	Scopus	TITLE-ABS-KEY ("maturity" OR "readiness") AND ("BIM" OR "Building information model*") AND ("sustainab*" OR environment* OR green)
	WoS	TS=("maturity" OR "readiness") AND ("BIM" OR "Building information model*") AND ("sustainab*" OR environment* OR green)

Fonte - Elaborado pelo Autor.

A pesquisa foi conduzida por meio de uma busca sistemática na literatura, empregando uma combinação de termos de busca em títulos, resumos e palavras-chave. Na terceira etapa, a literatura selecionada foi avaliada, levando em consideração o título, o resumo e o texto completo. O processo foi aprimorado com a utilização da técnica de bola de snowball (MORGAN, 2008) para frente e para trás, a fim de complementar a seleção e identificar documentos que poderiam ter sido negligenciados na fase inicial. Essa abordagem possibilita a identificação de documentos não indexados nos repositórios de pesquisa utilizados, sendo recomendada por ARKSEY e O'MALLEY (2005) nesta fase da busca. Na quarta

etapa, procedeu-se à análise e síntese da literatura selecionada, considerando os critérios de inclusão/exclusão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios iniciais de inclusão/exclusão		
BIM Maturity Model I4.0	Critérios de Exclusão	Se excluíram as investigações que (1) careciam de síntese, (2) trabalhos que não agregavam ao intento investigativo dos autores, (3) que não estavam redigidos na língua inglesa e (4) estudos sem validade (aqueles que não disponibilizavam a versão completa online do texto).
	Critérios de Inclusão	Foram selecionadas pesquisas avaliadas por pares, publicadas em inglês entre 2011 e 2024, que abordaram três tipos de modelos distintos - MMB relacionados à I4.0, MMB sem relação com a I4.0 e modelos de maturidade em manufatura. Este último ampliou e enriqueceu o escopo do estudo em questão, (2) os estudos mais recentes submetidos a revisão, (3) os trabalhos que tinham resumos disponíveis e (4) os artigos que explicavam a Transformação Digital no Contexto da Indústria 4.0.
BIM Maturity Model for Sustainability	Critérios de Exclusão	Foram excluídos estudos que (1) abordassem apenas a sustentabilidade, sem estabelecer uma relação direta com a implementação ou adoção do BIM; (2) focassem exclusivamente no desenvolvimento ou aprimoramento de MMB, sem explorar a relação com a sustentabilidade; (3) não estivessem redigidos em inglês, limitando a acessibilidade e o alcance da revisão; e (4) fossem artigos inválidos, ou seja, aqueles que não pudessem fornecer a versão online do conteúdo completo do texto, impossibilitando a análise aprofundada do estudo.
	Critérios de Inclusão	Os estudos selecionados para inclusão foram revisados por pares e atendem aos seguintes critérios - (1) foram publicados em inglês, sem restrição quanto ao ano de publicação; (2) discutem aspectos de sustentabilidade no contexto do desenvolvimento dos Modelos de Maturidade de BIM; (3) descrevem o desenvolvimento dos Modelos de Maturidade de BIM especificamente no setor público; e (4) são artigos que se concentram na discussão dos Modelos de Maturidade de BIM.
Fonte - Elaborado pelo Autor.		

Seguindo a classificação metodológica de ABELA (2002) para a análise de conteúdo, foram aplicadas duas técnicas - uma qualitativa, baseada na codificação e categorização dos dados textuais; e uma análise quantitativa foi realizada utilizando o ATLAS.ti 23(FRIESE, 2019), um software especializado na análise assistida por computador de dados qualitativos, também conhecido como Software de Análise de Dados Qualitativos Assistido por Computador (CAQDAS), baseada na interpretação e validação dos resultados -

1. Análise dos artigos selecionados para o desenvolvimento dos MM de BIM focados na Indústria 4.0 e sustentabilidade, codificando os temas centrais de cada artigo e agrupando-os em categorias temáticas.
 2. Análise dos achados da revisão para detectar tendências e padrões, resumindo os resultados da análise de conteúdo em uma resposta ao problema da pesquisa.
- Após a realização de um estudo preliminar, foram selecionados os artigos que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. O objetivo

era escolher trabalhos que abordassem os modelos de maturidade MMB no contexto da I4.0 e sustentabilidade. No que se refere aos artigos centrados nos MMB relacionados à Indústria 4.0, os resultados das duas bases de dados consultadas, Scopus (n = 1379) e Web of Science (n = 1132), foram reunidos na mesma base de dados. Após a eliminação de 1500 elementos duplicados, o total de documentos foi de 1011.

No caso dos artigos que tratavam dos MMB voltados para a sustentabilidade, os resultados das bases de dados Scopus (n = 744) e Web of Science (n = 658), os quais também foram consolidados. Após a exclusão de 227 elementos repetidos, o número total de documentos alcançou 1175. Todos os documentos selecionados foram exportados nos formatos Bibtex e CSV para análises posteriores.

Para cada categoria, adota-se os seguintes procedimentos metodológicos -

1. Primeiramente, foram filtrados os artigos com base em seus títulos e resumos, descartando aqueles que não tinham relação direta com o campo de pesquisa ou que não atendiam aos critérios de qualidade e relevância.
 2. Destaca-se que, em relação ao conceito de Indústria 4.0, cuja cunhagem ocorreu em 2011, se compreende a importância de limitar a busca a partir desse período. Essa delimitação temporal contribuirá para garantir a relevância e atualidade das informações.
 3. Após a triagem inicial, prosseguiu-se com a leitura completa dos artigos restantes, eliminando aqueles que não apresentavam dados suficientes ou confiáveis sobre os MMB voltados para a I4.0 e a sustentabilidade.
 4. Foram analisados minuciosamente os artigos finais e extraídas as informações relevantes que possibilitaram abordar as subquestões de pesquisa correspondentes. O resultado desse processo metodológico pode ser resumido da seguinte forma -
- Na abordagem da Indústria 4.0, optou-se por excluir 671 artigos baseando-se em seus títulos e resumos. Posteriormente, os autores (pesquisadores) realizaram uma seleção, resultando em 650 artigos (662 do pesquisador 1, 645 do pesquisador 2 e 532 do pesquisador 3). Dos 450 artigos excluídos pelos critérios de exclusão mediante análise de concordância, 202 artigos permaneceram. Desses 36, uma análise exaustiva levou a excluir 186 devido à falta de dados suficientes ou confiáveis sobre os Modelos de Maturidade BIM focados na Indústria 4.0. Isso resultou em uma amostra final composta por 16 artigos cuidadosamente

selecionados. Posteriormente, foram incluídos mais 8 artigos após a utilização da técnica de snowball, totalizando 24 artigos completos. Ao identificar dimensões tecnológicas eficazes, as organizações podem avançar para um futuro digital mais eficiente e produtivo. Esses modelos abrangem aspectos-chave da fabricação avançada, como a interconexão de máquinas e sistemas, o uso de Big Data e Inteligência Artificial, a implementação de manufatura aditiva e a aplicação de realidade aumentada em operações. Ao integrar esses conceitos no contexto do BIM e construção 4.0, facilita-se a orientação do desenvolvimento de ferramentas BIM para aproveitar as últimas tecnologias. Esse enfoque estratégico não apenas otimiza a eficiência dos processos, mas também impulsiona a capacidade de adaptação das organizações aos avanços tecnológicos em constante evolução.

No âmbito da incorporação da Sustentabilidade, iniciou-se a seleção com 1175 artigos. Desse conjunto, optou-se por excluir 550 artigos baseando-se em seus títulos e resumos. Posteriormente, os três pesquisadores realizaram uma seleção, resultando em 625 artigos (140 do pesquisador 1, 106 do pesquisador 2 e 198 do pesquisador 3). Dos 415 artigos excluídos pelos critérios de exclusão mediante análise de concordância, 210 artigos permaneceram. Desses 210, uma análise exaustiva levou a excluir 199 devido à falta de dados suficientes ou confiáveis sobre os Modelos de Maturidade BIM voltados para a Sustentabilidade. Isso resultou em uma amostra final composta por 11 artigos cuidadosamente selecionados.

Assim, a amostra final é composta por um total de 35 artigos, dos quais 24 estão focados na interseção entre Indústria 4.0 (manufatura) e BIM (digitalização na construção), enquanto os outros 11 tratam da integração da sustentabilidade nos Modelos de Maturidade BIM, como representado na Figura 2.

Seguindo o método de MAYRING (2014), foi realizada uma descrição detalhada do conteúdo de cada pesquisa mencionada, considerando especificamente os artigos que abordam modelos de maturidade em relação ao BIM e à I4.0, bem como aqueles que discutem a I4.0 e modelos de maturidade, com o objetivo de considerar a interoperabilidade e a virtualização das tecnologias da I4.0. Os próprios artigos foram a unidade de análise e foram examinadas características como tipo de estudo, autores, objetivo de cada um e aspectos de cada modelo. A partir dessa análise descritiva, foram definidas dimensões estruturais relevantes, identificando quais artigos se referiam ao BIM, que trata da digitalização na construção, e quais se concentravam na I4.0, relacionada à fabricação. Por fim, cada artigo foi avaliado

atribuindo-lhe categorias baseadas nas dimensões previamente selecionadas, o que permitiu uma compreensão mais profunda da literatura existente e proporcionou uma base sólida para futuras pesquisas nesses campos, como evidenciado na Tabela 3, identificando lacunas na literatura relacionadas à busca por artigos sobre Modelos de Maturidade BIM direcionados à convergência da I4.0 e sustentabilidade.

Tabela 3 – Explorando Modelos de Maturidade em BIM, Indústria 4.0 e Sustentabilidade - Uma Perspectiva Integrada

ID	Referência/Convergência da Indústria 4.0	Região	Objetivo específico	Aspectos de cada modelo	BIM (digitalização na construção)	I4.0 (manufatura)
1	Afonso et al.(2013)	Brasil	Criar um modelo de maturidade de BIM capaz de incentivar cidades inteligentes (Recife, Curitiba e Porto Alegre).	Otimização de recursos, implementação de políticas públicas baseadas na maturidade de cidades inteligentes e na avaliação constante do desempenho.	x	
2	Kam et al. (2013)	Estados Unidos	Medir a maturidade da implementação do design e construção virtual (VDC) em projetos da indústria AEC	Quantitativo, prático e adaptável para avaliar a maturidade da implementação de VDC em projetos AEC, é compatível com os princípios da Indústria 4.0 de medição de desempenho, integração de sistemas e adaptação a tecnologias emergentes.	x	
3	Schumacher et al. (2016)	Alemanha	Desenvolver um modelo de maturidade em I4.0 para infraestrutura.	O VDC Scorecard é um arcabouço holístico, quantitativo, prático e adaptável, projetado especificamente para avaliar a implementação de BIM em projetos de AEC, abordando aspectos técnicos e de colaboração, alinhado às melhores práticas da indústria.		x
4	Liang et al. (2016)	China	Propor um modelo de avaliação da maturidade BIM para empresas de construção na China.	Ao abordar de forma integrada tecnologia, processos e padrões, com aplicabilidade em múltiplos níveis e apresentação vívida, o modelo proposto reforça os princípios-chave da Indústria 4.0 de integração de sistemas, análise de dados e tomada de decisão baseada em modelos.	x	
5	de Carolis (2017)	Itália	Propor um modelo de maturidade para pequenas e médias empresas na Itália.	Aborda múltiplas dimensões críticas para a adoção de tecnologias avançadas como BIM, incluindo maturidade tecnológica, maturidade de conectividade de informação, maturidade de processos, maturidade organizacional e maturidade de pessoal.		x
6	Gökalp et al. (2017)	Turquia	Avaliar o nível de maturidade em empresas na Turquia.	Permite uma avaliação objetiva e repetível da maturidade, alinhada com o princípio do BIM de usar padrões e medições quantificáveis.		x
7	Smits et al. (2017)	Países Baixos	Desenvolver e validar um modelo de maturidade BIM para clientes de projetos de construção.	Avalia diferentes elementos e subelementos relacionados com a estratégia, uso, processos, informação, infraestrutura e pessoal envolvidos na implementação de BIM, que são aspectos-chave	x	

				para adotar tecnologias digitais como as requeridas na Indústria 4.0.	
8	Mittal et al. (2018)	Índia	Desenvolver um modelo de maturidade de capacidade para prontidão de manufatura digital.	Orienta um segmento empresarial específico (PMEs) em direção a estágios de maior maturidade para maximizar os benefícios da adoção de tecnologias avançadas como a Indústria 4.0 ou BIM.	x
9	Xue et al. (2018)	Estados Unidos	Desenvolver um modelo de previsão de maturidade	A ideia central de poder prever e gerenciar a curva de adoção e maturidade tecnológica de uma empresa com base em suas capacidades e estratégias é muito valiosa e aplicável ao paradigma da Indústria 4.0.	x
10	Wiesner et al. (2018)	Itália	Desenvolver um modelo de maturidade para gerenciamento de ativos e instalações.	O foco está nas PMEs do setor manufatureiro, os princípios metodológicos poderiam ser replicados para PMEs da construção civil que buscam implementar o BIM de forma progressiva de acordo com sua maturidade digital.	x
11	Mollasalehi et al. (2018)	Reino Unido	Desenvolver um modelo de maturidade integrado lean.	As dimensões e níveis de maturidade propostos, embora focados em BIM e Lean, poderiam ser adaptados para refletir as capacidades e estágios de adoção de grupos de tecnologias I4.0 como sistemas ciberfísicos, internet das coisas, análise avançada, etc.	x
12	Joblot et al. (2019)	França	Propor um modelo de maturidade BIM especificamente projetado para o setor de renovação.	A proposta de um modelo visual e intuitivo (diagrama kiviati) para representar os níveis de maturidade poderia ser adaptada para visualizar a maturidade I4.0 de maneira simples.	x
13	Babatunde et al. (2019)	Nigéria	Desenvolver e validar um modelo de medição de maturidade BIM baseado no ciclo de vida.	A ideia de usar a ferramenta de avaliação quantitativa como um guia para que as empresas identifiquem áreas de melhoria e ações para alcançar níveis superiores de maturidade tecnológica é muito valiosa no contexto I4.0.	x
14	Dikhanbayeva et al. (2020)	Turquia	Propor um modelo de maturidade com foco em projeto sustentável.	A identificação de lacunas e oportunidades de melhoria nos modelos analisados em relação à adesão aos princípios básicos é uma abordagem valiosa para o âmbito BIM.	x
15	Ferraz et al. (2020)	Brasil	Avaliar modelos de maturidade BIM utilizando princípios de design.	A ideia de facilitar que as empresas identifiquem o modelo mais adequado para sua etapa de maturidade digital e caso de uso específico é muito valiosa na transição para a Indústria 4.0.	x
16	Santos e Martinho (2020)	Portugal	Analisar o nível de maturidade em Portugal.	Os benefícios práticos identificados, como diagnóstico inicial, monitoramento, planejamento do estado futuro desejado e	x

17	Edirisinghe et al. (2021)	Reino Unido	Desenvolver um modelo de maturidade BIM orientado ao ciclo de vida utilizando a abordagem de rede de atores.	desenvolvimento de capacidades, aplicam-se igualmente a uma adoção escalonada de BIM. A abordagem do estudo baseado na teoria ator-rede (ANT) poderia ser útil para analisar as complexas redes de atores (humanos e não humanos) envolvidos nos sistemas da Indústria 4.0.	x
18	Sun et al. (2021)	China	Propor um modelo de avaliação da maturidade de projetos BIM baseado em desempenho.	Considerando os fatores sociais e os participantes, o modelo leva em consideração o ambiente social e os participantes do projeto, o que é relevante para a Indústria 4.0, onde a interação entre tecnologias, processos organizacionais e pessoas é fundamental.	x
19	Pereira et al. (2022)	Brasil	Apresentar o nível atual de maturidade do BIM nas empresas de arquitetura, engenharia e construção do estado de Minas Gerais.	Destaca a heterogeneidade nos níveis de maturidade encontrados nas empresas AEC brasileiras. Essa observação também é válida na Indústria 4.0, onde as organizações podem estar em diferentes estágios de adoção de tecnologias digitais, o que requer abordagens personalizadas.	x
20	Dunel et al.(2022)	Brasil	Desenvolver um modelo de maturidade BIM estratégico e integrado para Salvador	Destaca a importância de promover o desenvolvimento de competências relacionadas ao BIM de forma integrada com o ambiente acadêmico. Esse enfoque de desenvolver competências em tecnologias emergentes em estreita colaboração com as instituições educacionais também é crucial na Indústria 4.0.	x
21	Rashidian et al. (2022)	Austrália	Analisar a compatibilidade de modelos de maturidade BIM com lean construction e entrega de projetos integrados.	Compara os modelos de maturidade existentes para BIM, LC e IPD. Esse enfoque de analisar e aproveitar modelos de maturidade existentes também poderia ser aplicado na Indústria 4.0, onde existem diversos modelos de maturidade para diferentes tecnologias digitais.	x
22	Alankarage et al. (2022)	Sri Lanka	Propor um framework para avaliar a maturidade BIM em nível nacional.	A motivação de ter uma ferramenta para avaliar o nível de maturidade na adoção de tecnologias inovadoras e disruptivas é compartilhada tanto para a I4.0 quanto para o BIM na indústria da construção.	x
23	Adekunle et al. (2023)	Nigéria	Desenvolvimento de um modelo de maturidade no contexto de países em desenvolvimento.	O estudo fornece critérios e diretrizes para o desenvolvimento de modelos de maturidade adequados, o que é crucial para a elaboração de modelos de maturidade sólidos e confiáveis que possam orientar eficazmente a adoção de tecnologias digitais na Indústria 4.0.	x

24	Hein-Pensel et al. (2023)	Alemanha	Analisa se os modelos de maturidade existentes para a Indústria 4.0 consideram os requisitos específicos da Indústria 5.0	A pesquisa identifica características-chave que deveriam ser consideradas nos modelos de maturidade para a Indústria 5.0, a abordagem holística, a sustentabilidade e a colaboração humano-máquina, também podem ser relevantes para o desenvolvimento de modelos de maturidade BIM robustos e eficazes.	x
----	---------------------------	----------	---	--	---

ID	Referência/ sustentabilidade	Região	Objetivo específico
1	Mollasalehi et al. (2018)	Reino Unido	Desenvolver um modelo de maturidade integrado de BIM e lean.
2	Badawy (2020)	Egito	Aumentar a maturidade do modelo BIM e integrá-lo com a abordagem aos sistemas de certificação de edifícios ecológicos.
3	Ma et al.(2019)	China	Propor um novo sistema de avaliação de emergências por incêndio em edifícios, baseado em CMM e BIM, para melhorar a segurança e a sustentabilidade
4	Bões et al. (2021)	Brasil	Propor um modelo de maturidade BIM para instituições de ensino superior.
5	Terouhid e Ries (2016)	Estados Unidos	Propor um modelo de maturidade para a excelência em sustentabilidade organizacional das empresas de construção.
6	Opoku e Fortune (2011)	United Arab Emirates	Desenvolver um modelo de maturidade para integrar a aprendizagem organizacional na entrega sustentável de projetos na indústria da construção
7	Mohammed (2022)	Reino Unido	Propor um modelo BIM sustentável aplicado no ciclo de vida dos edifícios.
8	Sun et al. (2022)	China	Desenvolver um modelo bidimensional de aplicação e maturidade BIM.
9	Brahim et al. (2023)	Malásia	Revisão sistemática de modelos de maturidade BIM existentes.
10	Sternad Zabukovšek et al. (2023)	Eslovênia	Analisar a maturidade de modelos BIM sustentáveis por meio da avaliação da gestão do ciclo de vida
11	Chen et al. (2024)	China	Desenvolver uma metodologia de apoio a decisões para avaliar a maturidade BIM considerando múltiplos objetivos.

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 3, foi realizada uma análise de estudos relacionados a modelos de maturidade para BIM e Indústria 4.0. Esta análise envolveu -

1. Identificar e examinar os principais aspectos, características e enfoques abordados por cada modelo de maturidade proposto nos estudos revisados.
2. Avaliar de que forma esses aspectos se alinham ou são relevantes para os conceitos, princípios e requisitos da Indústria 4.0, como integração de sistemas, análise de dados, tomada de decisão baseada em modelos, colaboração humano-máquina, entre outros.
3. Destacar as abordagens holísticas e multidimensionais adotadas por alguns modelos, que consideram aspectos técnicos, organizacionais, de processos e de recursos humanos na adoção de tecnologias digitais.
4. Observar a aplicabilidade dos modelos a diferentes níveis (projetos, organizações, indústrias) e setores específicos, como pequenas e médias empresas.
5. Identificar modelos que incorporam aspectos de sustentabilidade, como projeto sustentável e integração com certificações de construção verde.
6. Reconhecer os modelos orientados ao ciclo de vida completo dos ativos, desde o projeto até a operação e manutenção.
7. Apontar os estudos que utilizaram abordagens teóricas, como a teoria ator-rede, para analisar as complexas redes de atores envolvidos na adoção de tecnologias digitais.
8. Mencionar os modelos que propõem formas visuais e quantitativas de representar e avaliar os níveis de maturidade.

A análise identificou modelos que incorporam aspectos de sustentabilidade, como projeto sustentável e integração com certificações de construção verde, bem como modelos orientados ao ciclo de vida completo dos ativos, desde o projeto até a operação e manutenção.

Por fim, mencionaram-se os modelos que propõem formas visuais e quantitativas de representar e avaliar os níveis de maturidade. Em resumo, a análise dos "Aspectos de cada modelo" examinou minuciosamente as características, enfoques e alinhamentos específicos de cada modelo proposto, em relação aos princípios e requisitos da I4.0, considerando também aspectos relevantes como sustentabilidade e ciclo de vida.

2.2.1 Análise descritiva e bibliométrica de estudos de MM de BIM com I4.0

Nesta seção, propõe-se realizar uma análise descritiva e bibliométrica dos estudos já publicados sobre MMB integrados a conceitos de I4.0. O objetivo é mapear o conhecimento existente nessa interseção de temas, buscando responder às seguintes questões norteadoras -

QP1.1. Que dimensões os MM BIM 4.0 atuais avaliam?

QP1.2. Quais as tendências do BIM para transformação digital?

O setor da construção está passando por uma revolução digital, graças à implementação do BIM e sua convergência com as tecnologias emergentes da I4.0 (CHEN *et al.*, 2022). Esta revolução levou ao desenvolvimento de vários MMB para avaliar o grau de implementação do BIM e sua integração com a Indústria 4.0 nas organizações (MAGALHÃES *et al.*, 2023). No entanto, apesar de sua importância neste contexto de mudança, a maioria desses modelos não aborda explicitamente as capacidades da I4.0 (CHARI *et al.*, 2022).

Nesta seção, realizamos uma análise descritiva e bibliométrica para compreender o panorama atual das pesquisas que exploram a interseção entre os Modelos de Maturidade BIM e a I4.0. Examinamos diversas variáveis descritivas, assim como a evolução temporal das publicações, os autores de destaque na área, as revistas mais citadas e os países líderes na produção de conhecimento neste campo específico. A análise descritiva e bibliométrica, que se concentra em estudos de MM de BIM com I4.0, foi conduzida com uma amostra de 1321 artigos. A exclusão de duplicatas aumenta a precisão dos dados e garante que cada estudo seja contado individualmente. Com uma amostra tão extensa, é possível extrair padrões e tendências confiáveis e válidos. Assim, os resultados desta análise podem ser aplicados ao conjunto total de estudos nesta área. Os resultados obtidos foram apresentados na Figura 3, elaborada por meio da ferramenta bibliométrica (ARIA; CUCCURULLO, 2017), feito em linguagem R com o aplicativo Bibliometrix (ARIA e CUCCURULLO, 2017).

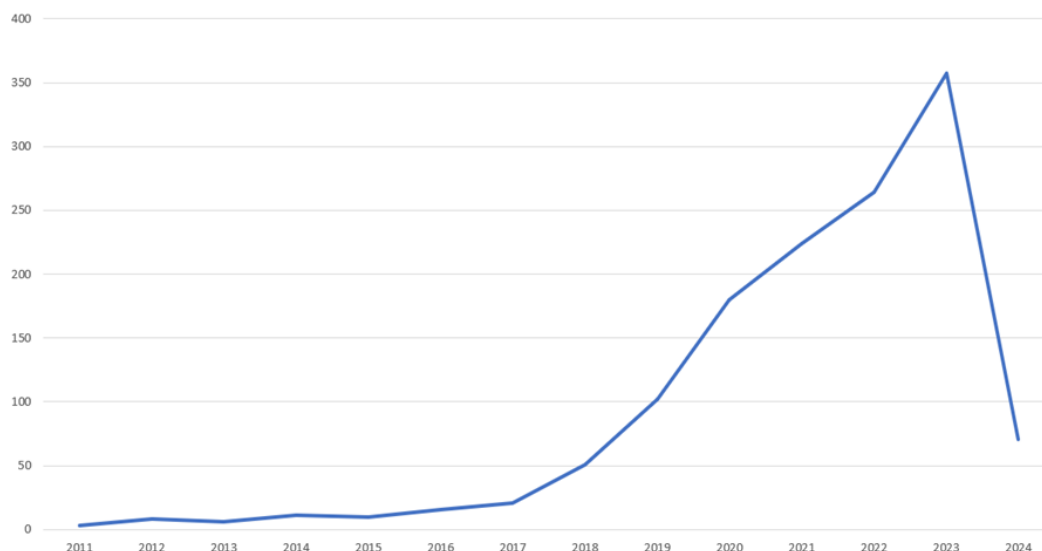


Figura 3 – Produção científica anual. **Fonte** - Elaborado pelo autor.

A figura 3 mostra a produção de artigos científicos relacionados à análise descritiva de estudos de modelos de maturidade BIM e Indústria 4.0, demonstrou alto crescimento na última década, refletindo o rápido avanço dessas tecnologias emergentes. Começando com 23 publicações em 2011, a produção nesta área de pesquisa atingiu um recorde histórico de 197 artigos em 2022. Isso representa um aumento médio anual de 15%. Embora em 2023 tenha havido uma pequena queda para 177 artigos, a produção permanece em níveis muito superiores aos anos anteriores, indicando que existe um forte e sustentado interesse acadêmico em compreender a interseção e compatibilidade entre os modelos de maturidade BIM e as tecnologias avançadas de manufatura da Quarta Revolução Industrial. Com pelo menos 3 artigos publicados até o momento em 2024, projeta-se que a produtividade de pesquisas nesta área continue sendo alta nos próximos anos, fornecendo ideias valiosas para a efetiva implementação dessas tecnologias na prática industrial.

Nesta seção, apresenta-se uma análise dos autores locais mais citados na produção científica sobre modelos de maturidade BIM com a Indústria 4.0. A Figura 4 exhibe os resultados dessa análise, revelando os autores que estão exercendo maior influência na comunidade acadêmica local de acordo com as métricas de citação. A seguir, discutem-se esses resultados e suas implicações para mapear a liderança intelectual nesse domínio de pesquisa.

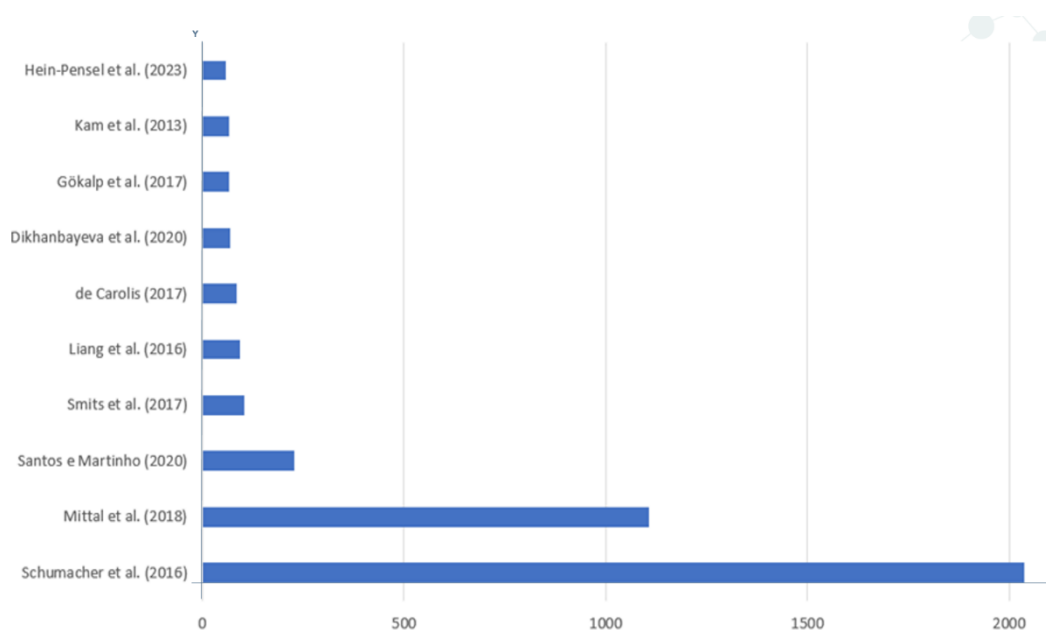


Figura 4 – Autores mais relevantes. **Fonte** - Elaborado pelo autor.

No campo da análise descritiva dos modelos de maturidade BIM e da Indústria 4.0, um seleto grupo de autores se destaca pelas contribuições mais significativas. Entre eles, SCHUMACHER *et al.* (2016) lideram com 2.037 artigos específicos, seguidos por MITTAL *et al.* (2018) com 1.108, evidenciando seus papéis centrais como principais pesquisadores. Seis dos dez autores mais prolíficos possuem 86 ou mais publicações, acumulando juntos mais de um terço (35,2%) do total de artigos específicos. A abundante produtividade científica de autores como SANTOS e MARTINHO (2020) com 228 artigos, SMITS *et al.* (2017a) com 105, LIANG *et al.* (2016) com 92 e de CAROLIS (2017) com 86 reflete a proeminência desses acadêmicos no delineamento do estado da arte sobre a integração dos modelos de maturidade BIM com as tecnologias avançadas de manufatura da Quarta Revolução Industrial. Outros autores notáveis incluem DIKHANBAYEVA *et al.* (2020) com 70 artigos, GÖKALP *et al.* (2017) com 66, KAM *et al.* (2013) com 65 e HEIN-PENSEL *et al.* (2023) com 57. Continuaremos observando esse consolidado grupo elite na vanguarda do conhecimento em uma área de rápido desenvolvimento. Esse panorama indica um crescente interesse entre diversos pesquisadores por este novo campo de estudo, com amplas oportunidades para contribuições inovadoras. Após a análise das revistas mais influentes na publicação de artigos sobre modelos de maturidade BIM com a I4.0, conduziu-se uma avaliação por fonte de informação

para discernir a relevância de cada publicação nesse campo. Os resultados estão apresentados na Figura 5.

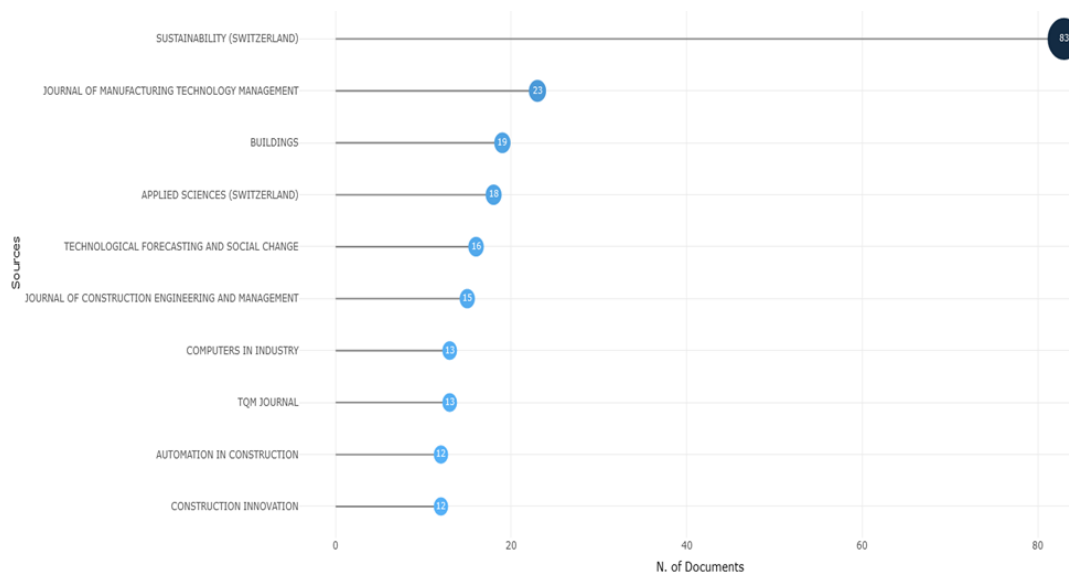


Figura 5 – Fontes mais relevantes. **Fonte** - Elaborado pelo autor.

A Figura 5 mostra que a revista Sustainability destaca-se claramente como o principal veículo de difusão na área de modelos de maturidade BIM e de I4.0. Seguem em relevância as revistas Journal of Manufacturing Technology Management e Buildings, com 23 e 19 artigos cada, colocando em evidência a natureza interdisciplinar que caracteriza este campo de conhecimento emergente na intersecção entre a gestão da tecnologia de fabricação e integração de design, arquitetura de construção e engenharia de edificações. No geral, as 10 principais fontes concentram 224 artigos, o que significa que menos da metade das contribuições provêm apenas dessas 10 revistas-chave. Outras revistas de destaque incluem Technological Forecasting and Social Change, Journal of Construction Engineering and Management, Computers in Industry, TQM Journal e Automation in Construction, cada uma com entre 16 e 12 aparições. Embora a maioria se concentre em construção, engenharia e gestão, também há presença de fontes voltadas para tecnologia e ciências aplicadas. Esse cenário reflete o crescente interesse multidisciplinar em compreender como implementar os modelos de maturidade BIM com as tecnologias 4.0 que transformarão o futuro da construção.

2.2.2 Análise descritiva e bibliométrica de estudos de MM de BIM com sustentabilidade

No âmbito da construção, a integração do BIM com os princípios de sustentabilidade tem suscitado um interesse notável. Por meio de uma análise descritiva e bibliométrica dos estudos mais recentes, é possível constatar que os MMB estão sendo cada vez mais empregados em conjunto com práticas sustentáveis. Este cenário nos conduz a duas indagações cruciais -

QP2.1. Que dimensões os MM BIM sustentáveis atuais avaliam?

QP2.2. Quais as tendências do BIM para desenvolvimento sustentável?

O setor da construção tem uma grande responsabilidade nos impactos ambientais que afetam o planeta (SPARREVIK *et al.*, 2021). Para reduzir esses impactos, pode-se adotar o BIM, uma metodologia que permite gerenciar os projetos de construção de forma integrada e eficiente (GURMU *et al.*, 2022). No entanto, muitos dos modelos de maturidade BIM existentes não levam em consideração a sustentabilidade como um fator-chave (GURMU *et al.*, 2022). Por isso, é necessário adaptar ou criar novos modelos de maturidade BIM que incorporem critérios e fases relacionados à sustentabilidade (EDIRISINGHE *et al.*, 2021). Esses modelos poderiam incluir fases que utilizam o BIM para a análise do ciclo de vida, a seleção de materiais sustentáveis, o design para a desconstrução, a redução de resíduos e outros aspectos relevantes (BADAWY, 2020). A adoção de modelos de maturidade BIM orientados à sustentabilidade é uma oportunidade para que o setor da construção contribua para a redução dos impactos ambientais em nível global (SOUST-VERDAGUER *et al.*, 2023).

Embora tanto a modelagem de edifícios quanto o conceito de sustentabilidade já tivessem certa trajetória prévia, foi durante a primeira década dos anos 2000 que ocorreu uma convergência significativa entre ambas as correntes dentro do setor da construção, impulsionada tanto por uma maior consciência ambiental global quanto pelos notáveis avanços técnicos da metodologia BIM (LU *et al.*, 2017). Nesse contexto, surgiram os primeiros desenvolvimentos para integrar eficiência energética e critérios ecológicos nos fluxos de trabalho BIM (SEPASGOZAR *et al.*, 2021).

Este período de análise permite examinar a evolução das publicações desde antes da implementação desses padrões até o atual aumento e massificação, onde a sustentabilidade e a eficiência energética foram plenamente integradas nas metodologias do setor AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção).

O panorama atual das pesquisas sobre a integração de sustentabilidade em Modelos de Maturidade BIM foi analisado através de uma abordagem descritiva e bibliométrica. A amostra inicial de 1175 estudos foi submetida à remoção de duplicatas, garantindo assim representatividade e precisão na análise bibliométrica dos estudos de MM de BIM com sustentabilidade. Essa abrangente amostra possibilita a identificação de tendências e padrões com confiabilidade e validade, assegurando que cada estudo seja considerado apenas uma vez, evitando assim super-representações. Portanto, os resultados obtidos são extrapoláveis para o universo de estudos neste campo. Foram examinadas diversas variáveis a fim de obter insights sobre esta interseção, incluindo a evolução temporal das publicações, autores proeminentes, periódicos mais citados e os principais países que têm contribuído para o avanço do conhecimento neste campo de estudo. Conforme ilustrado na Figura 6 a seguir, foi possível mapear tendências-chave que caracterizam o estágio de desenvolvimento desta vertente.

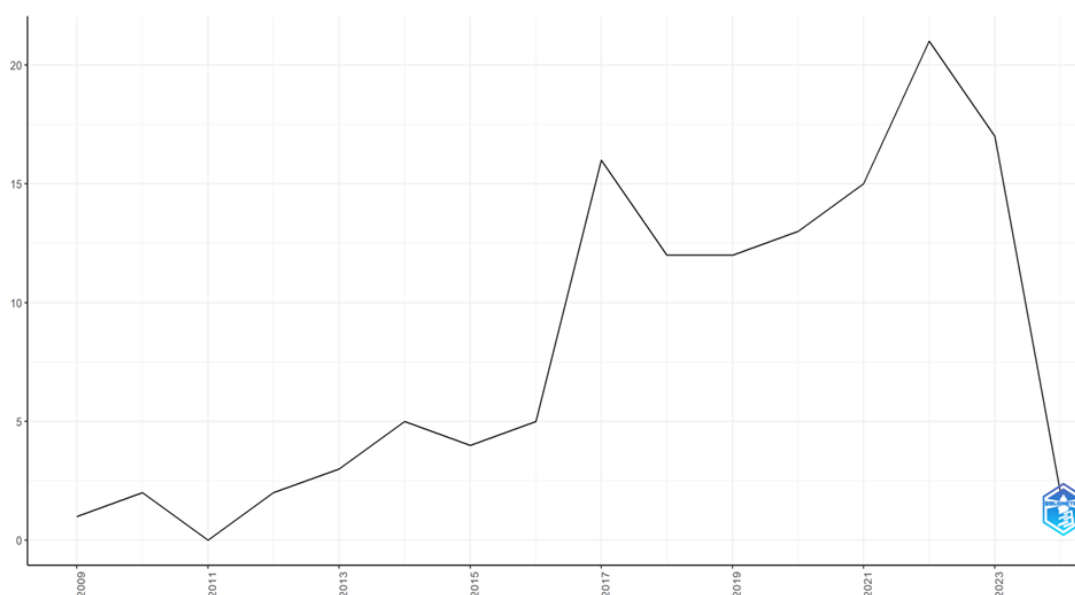


Figura 6 – Produção científica anual. **Fonte** - Elaborado pelo autor.

A produção de pesquisas acadêmicas sobre modelos de maturidade BIM e sua relação com a sustentabilidade cresceu exponencialmente na última década, tornando-se uma área de estudo em ascensão constante. Nos primeiros anos, a

produção de artigos foi bastante limitada, com apenas 1 a 2 publicações anuais entre 2009 e 2015, indicando um interesse inicial baixo na comunidade científica enquanto à relação entre maturidade BIM e sustentabilidade. A partir de 2016, evidencia-se um aumento na quantidade de pesquisas sobre esses temas, atingindo um pico de 16 artigos em 2017 e mantendo uma produção constante de 12 a 15 publicações anuais entre 2018 e 2021, refletindo uma consolidação dessa linha de pesquisa. Observa-se um novo aumento significativo em 2022, com a publicação de 21 artigos, possivelmente impulsionado por uma maior relevância global da sustentabilidade. Embora em 2023 tenha ocorrido uma pequena queda para 17 trabalhos, este representa o segundo ano com maior produção histórica, confirmando que a integração de conceitos de sustentabilidade nos modelos de maturidade BIM para melhorar o desempenho ambiental do setor AEC é um tema de crescente relevância entre a comunidade internacional de pesquisadores. A projeção para 2024 é que se mantenham níveis elevados de produção científica sobre modelos BIM, maturidade BIM e sua ligação com a sustentabilidade.

Ao examinar os autores mais influentes na produção acadêmica local sobre modelos BIM sustentáveis, observa-se na Figura 7 aqueles com maior destaque segundo métricas de citação. A análise dessas referências bibliográficas permite mapear os líderes intelectuais que vêm moldando esse campo de pesquisa. Conforme discutido a seguir, esses resultados oferecem insights sobre quais autores exercem maior impacto na comunidade acadêmica, guiando o desenvolvimento de modelos BIM com princípios sustentáveis.

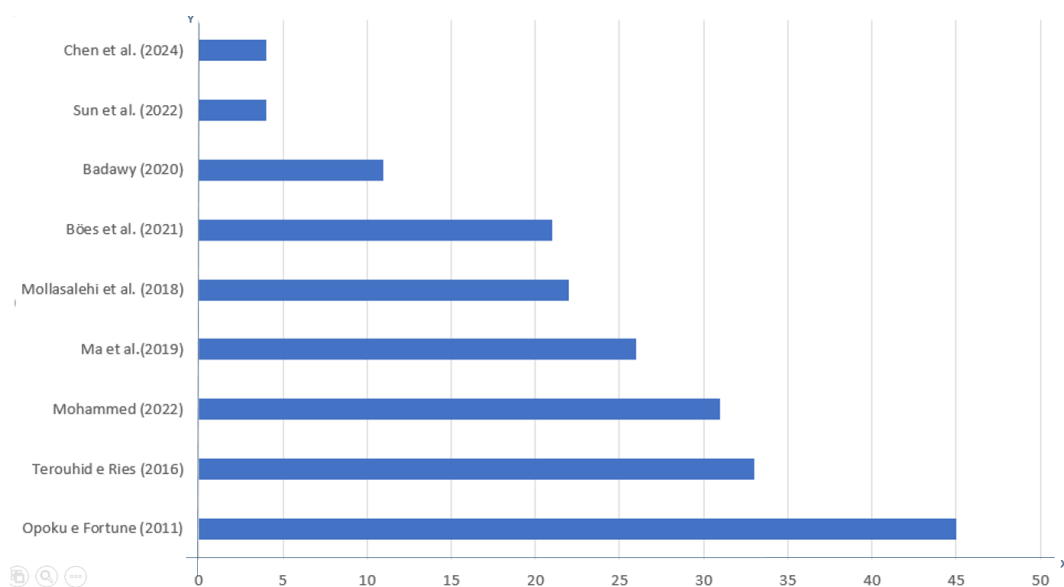


Figura 7 – Autores mais relevantes. Fonte - Elaborado pelo autor.

Os autores mais relevantes na investigação académica sobre a intersecção entre modelos de maturidade BIM e sustentabilidade são OPOKU e FORTUNE (2011), que se destacam com 45 artigos específicos, estabelecendo a base para este campo emergente. TEROUHID e RIES (2016) contribuíram significativamente com 33 artigos, enquanto MOHAMMED (2022) acumulou 31. Outros autores influentes incluem MA *et al.* (2019) com 26 artigos, MOLLASALEHI *et al.* (2018) com 22 e BÖES *et al.* (2021) com 21. A colaboração destes especialistas, juntamente com BADAWY (2020) com 11 artigos, SUN *et al.* (2022) e CHEN *et al.* (2024) ambos com 4 artigos cada, tem moldado pesquisas nesta área de rápido crescimento, que busca alinhar os processos de design e construção baseados em BIM com princípios de sustentabilidade ambiental.

Após examinar minuciosamente as revistas mais impactantes na divulgação de artigos relacionados a modelos de maturidade BIM com ênfase em sustentabilidade, realizou-se uma avaliação por fonte de informação para discernir a importância de cada publicação nesse domínio específico. Os resultados obtidos foram compilados e estão apresentados de forma gráfica na Figura 8.

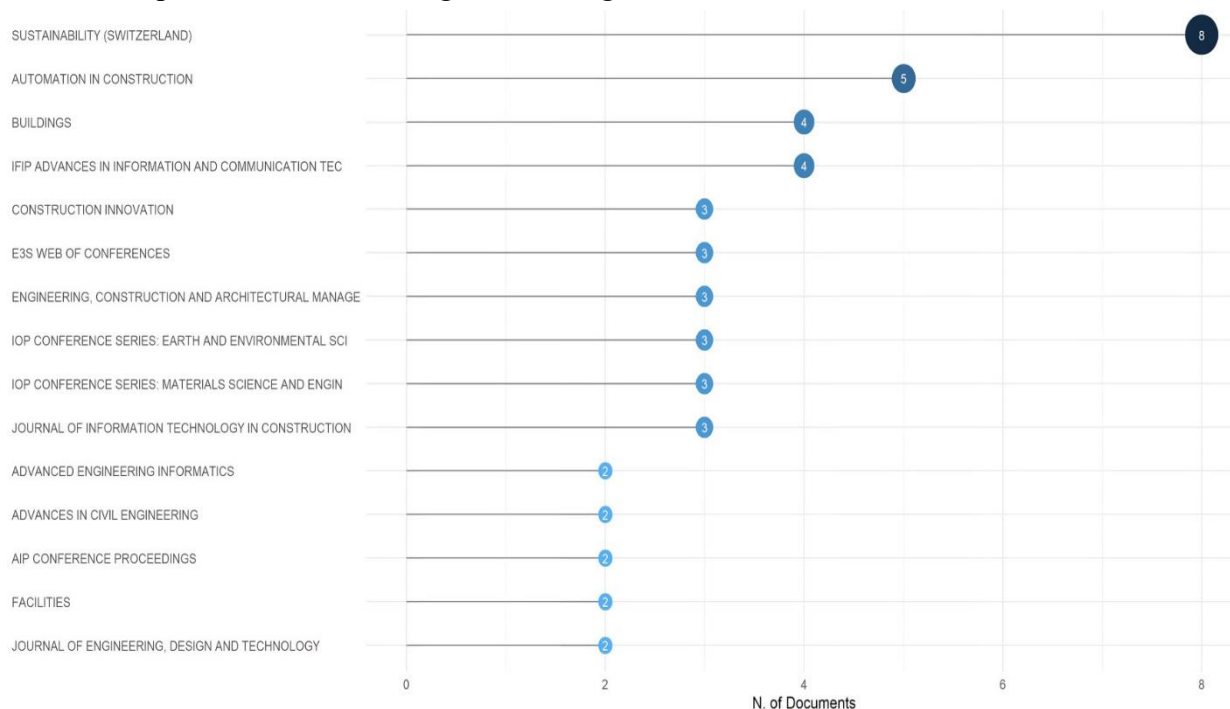


Figura 8 – Fontes mais relevantes. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

A revista Sustainability se consolidou como o principal meio de divulgação para a pesquisa sobre modelos de maturidade BIM integrados com a sustentabilidade,

publicando um total de 8 artigos sobre o tema. Este reconhecimento não apenas evidencia a dedicação da revista, mas também ressalta seu papel fundamental na divulgação substancial de pesquisas nesse domínio específico. Em segundo lugar, a revista "Automation in Construction" assume uma posição destacada, apresentando 5 artigos e consolidando sua liderança como uma publicação de referência em construção e tecnologia. O alinhamento de seu foco em automação com a crescente adoção de processos digitais, como o BIM, reforça sua relevância no cenário científico. No contexto geral, "Sustainability (Switzerland)" não apenas se destaca como o principal veículo de comunicação nesse nicho específico de pesquisa, mas também ressalta a interconexão entre avanços em processos construtivos digitais e ganhos ambientais.

2.2.3 Análise de conteúdo dos principais estudos de MM com BIM e I4.0

A indústria da construção está passando por uma transformação digital impulsionada pelas tecnologias da I4.0 (DIKHANBAYEVA *et al.*, 2020). Nesse contexto, foi realizada uma análise abrangente dos principais estudos de Modelos de Maturidade com BIM e I4.0. Essa análise de conteúdo foi realizada utilizando uma amostra consistindo em um total de 24 artigos. Os critérios de avaliação foram estabelecidos seguindo as diretrizes da norma ISO, com o objetivo de garantir resultados que sejam completos, compreensíveis, claros, objetivos, uniformes, confiáveis e comparáveis (ISO, 2015). Esta análise tem como objetivo lançar luz sobre as lacunas existentes e as oportunidades de melhoria nos modelos avaliados. Portanto, os critérios de avaliação foram desenvolvidos para os Modelos de Maturidade BIM atuais, ajustando-se aos requisitos estabelecidos por (GÖKALP e MARTINEZ, 2022).

Critério 1 - Relevância

O primeiro critério tem como foco determinar se o Modelo de Maturidade BIM é apropriado e abrangente o suficiente para avaliar a maturidade na Indústria 4.0.

Critério 2 - Integridade Dimensional

O segundo critério concentra-se na robustez das dimensões, assegurando que abordem aspectos técnicos e de gestão fundamentais que impactam na Indústria 4.0 como um todo ou em subconjuntos pertinentes.

Critério 3 - Clareza dos Níveis de Maturidade

O terceiro critério avalia a coerência e clareza da interpretação que descreve os diferentes níveis de maturidade para a Indústria 4.0 encontrados nos Modelos de Maturidade BIM.

Critério 4 - Definições Dimensionais

O quarto critério foca na descrição detalhada das dimensões de maturidade utilizadas para determinar o nível de maturidade na Indústria 4.0. Um modelo de maturidade para a Indústria 4.0 deve abranger definições, objetivos e práticas-chave relacionados a processos e questões relevantes.

Critério 5 - Profundidade de Dimensão

O quinto critério refere-se ao grau de detalhe das dimensões de maturidade, levando em consideração se são suficientemente profundas e abrangentes.

Critério 6 - Propriedades de Medição Definidas

O sexto critério avalia a integridade da interpretação em relação às dimensões de medição utilizadas para avaliar o nível de maturidade na Indústria 4.0. Isso envolve atributos, práticas e métricas que fornecem uma medida objetiva do nível de maturidade em relação a essas indústrias altamente tecnológicas e inovadoras.

Critério 7 - Métodos de Avaliação Descritivos

O sétimo critério concentra-se na clareza e no nível de detalhe que caracterizam o processo de avaliação da maturidade. Isso garante a estrutura e objetividade do método de avaliação.

Critério 8 - Objetividade dos Métodos de Avaliação

O oitavo critério avalia o grau de objetividade do método de avaliação dos Modelos de Maturidade BIM. Isso refere-se a uma descrição clara e inequívoca de capacidades, níveis de maturidade, características e práticas relacionadas.

Critério 9 - Acessibilidade

O último critério relaciona-se aos métodos de acesso e avaliação de todos os elementos e perguntas dos MMBs. Considera-se que os Modelos de Maturidade BIM atendem completamente a esse critério se esses aspectos estiverem disponíveis gratuitamente.

Foram realizadas análises dos MMBs específicos para a I4.0, como detalhado na Tabela 3. Os resultados dessas avaliações estão resumidos na Tabela 4. Cada critério foi avaliado utilizando uma escala Likert de 5 pontos, com as seguintes categorias - (-) Não aplicável; (1) Insatisfeito em todos os aspectos; (2) Ligeiramente

satisfeito; (3) Moderadamente satisfeito; (4) Muito satisfeito; (5) Completamente satisfeito. Esta adaptação é baseada no trabalho de GÖKALP e MARTINEZ (2022).

Tabela 4 – A avaliação dos MMB4.0 existentes

Referência	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8	Critério 9
Afonso et al.(2013)	2	3	3	3	3	2	3	3	2
Kam et al. (2013)	3	3	3	4	3	3	2	3	2
Schumacher et al. (2016)	4	3	4	3	4	4	4	4	1
Liang et al. (2016)	3	3	3	3	3	3	2	2	1
Smits et al. (2017)	4	3	3	3	4	3	3	3	1
de Carolis (2017)	2	2	3	2	3	3	2	2	1
Gökalp et al. (2017)	3	4	4	4	4	4	3	4	1
Xue et al. (2018)	4	3	3	3	3	3	3	3	5
Wiesner et al. (2018)	2	2	4	3	3	3	2	2	1
Mittal et al. (2018)	3	3	2	2	3	2	2	3	1
Mollasalehi et al. (2018)	3	2	2	2	2	2	2	2	1
Joblot et al. (2019)	4	4	4	4	4	4	3	4	1
Babatunde et al. (2019)	2	4	3	2	2	3	2	2	1
Ferraz et al. (2020)	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Santos e Martinho (2020)	3	2	3	2	3	2	3	2	4
Dikhanbayeva et al. (2020)	3	4	3	4	3	4	2	3	3
Sun et al. (2021)	3	4	4	4	3	3	4	3	1
Edirisinghe et al. (2021)	3	3	3	3	3	3	2	3	2
Pereira et al. (2022)	2	3	3	3	3	2	3	3	2
Dunel et al.(2022)	4	3	2	3	4	3	4	2	1
Rashidian et al. (2022)	3	2	4	2	2	3	3	4	1
Alankarage et al. (2022)	3	4	3	3	3	3	2	3	2
Hein-pensel et al. (2023)	4	4	4	4	3	3	4	3	1
Adekunle et al. (2023)	2	2	3	2	2	2	2	1	4

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Em termos de relevância, os modelos de SCHUMACHER *et al.* (2016); SMITS *et al.* (2017b); XUE *et al.* (2018) são os que melhor atendem ao critério de serem apropriados e suficientemente amplos para avaliar a maturidade na I4.0, obtendo as pontuações mais altas. No entanto, a maioria dos outros modelos BIM também demonstrou um grau aceitável de relevância, com pontuações de 3 ou 4 neste critério. Portanto, pode-se dizer que, de maneira geral, os modelos avaliados cumprem bem a tarefa de medir aspectos importantes da preparação para a I4.0.

Quanto à integridade dimensional DIKHANBAYEVA *et al.* (2020); GÖKALP *et al.* (2017); HEIN-PENSEL *et al.* (2023); JOBLOT *et al.* (2019); SUN *et al.* (2021) se destacam por abordar de forma mais sólida elementos técnicos e de gestão-chave da Indústria 4.0, com pontuações de 4 neste critério. Isso indica que eles capturam bem a multidimensionalidade de aspectos necessários para a transformação digital da indústria.

Em relação à clareza dos níveis de maturidade, GÖKALP *et al.* (2017); JOBLOT *et al.* (2019); SCHUMACHER *et al.* (2016); SUN *et al.* (2021) interpretam melhor a progressão de etapas em direção à adoção da I4.0. No entanto, a maioria obteve pontuações moderadas de 2 ou 3, sugerindo oportunidades de melhoria na definição das fases de avanço.

Sobre as definições dimensionais, DIKHANBAYEVA *et al.* (2020); GÖKALP *et al.* (2017); HEIN-PENSEL *et al.* (2023); SUN *et al.* (2021) se destacam ao delinear com mais detalhes os aspectos de cada dimensão, seus objetivos e melhores práticas. Ainda assim, de maneira geral, os modelos analisados explicam bastante bem suas categorias de avaliação da preparação para a I4.0.

Quanto à profundidade dimensional, DUNEL *et al.* (2022); GÖKALP *et al.* (2017); SCHUMACHER *et al.* (2016); SIEBELINK *et al.* (2018); SMITS *et al.*, (2017a) têm um maior grau de desenvolvimento e análise. No entanto, a maioria exibe um nível aceitável nesta área. O mesmo se aplica às propriedades de medição, onde DIKHANBAYEVA *et al.* (2020); GÖKALP *et al.* (2017); SCHUMACHER *et al.* (2016) se destacam levemente.

Em outro segmento, também foi obtido o seguinte resultado, conforme mostrado na Tabela 5. A análise revela que os critérios melhor avaliados são Relevância (2,9), Integridade Dimensional (3,1) e Clareza de Níveis (3,0), indicando níveis moderados de satisfação. Em contraste, Métodos Descritivos (2,5), Objetividade

(2,6) e Acessibilidade (1,4) apresentam desempenho inferior, refletindo insatisfação nessas áreas.

Tabela 5 – Análise dos critérios de avaliação

Critério	Média	Moda	Mediana	Intervalo	Dispersão (Intervalo Interquartil)
Relevância	2,9	3	3	1-5	Baixa
Integridade Dimensional	3,1	3	3	1-5	Moderada
Clareza de Níveis	3,0	3	3	1-5	Moderada
Métodos Descritivos	2,5	2	3	1-5	Alta
Objetividade	2,6	3	3	1-5	Alta
Acessibilidade	1,4	1	1	1-5	Alta

Fonte - Elaborado pelo Autor.

No que respeita à moda e à mediana, a maioria dos critérios apresenta valores de 3, o que sugere uma pontuação central e uma avaliação geral de "Moderadamente satisfeito". Os intervalos variam de 1 a 5, indicando consenso nas avaliações, embora exista uma maior variabilidade em Métodos Descritivos, Objetividade e Acessibilidade, conforme refletido nos seus intervalos interquartis mais amplos.

É importante destacar a diferença entre os conceitos de Verificado e Validado neste contexto. De acordo com BOEHM (1984), a verificação se refere ao processo de avaliar se um sistema atende às especificações e requisitos estabelecidos, enquanto que a validação busca determinar se o sistema atende às necessidades e expectativas reais do usuário (BOEHM, 1984). Em outras palavras, a verificação responde à pergunta "Estamos construindo o produto corretamente?", enquanto a validação aborda "Estamos construindo o produto certo?" (EASTERBROOK *et al.*, 2008).

Em uma análise adicional, na Tabela 6 destaca-se a distribuição de cinco tipos de pesquisas (Desenvolvimento, Aplicação, Validação, Ferramenta de avaliação, Tipologia MM, Confiabilidade/Avaliação e Praticidade).

Tabela 6 – Objetivos da pesquisa sobre o modelo de maturidade do BIM

Modelo	Desenvolvimento	Aplicação	Validação	Ferramenta de avaliação	Tipologia MM	Confiabilidade/Avaliação	Praticidade
Afonso et al.(2013)	Academia	Cidades Inteligentes	Casos de uso	Análise documental e Observação	Maturidade	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Kam et al. (2013)	Academia	Projeto de construção	Especialistas	Framework do VDC Scorecard	Maturidade	Validado	Medidas específicas de melhoria
Schumacher et al. (2016)	Indústria	Múltiplos setores	Simulações	Listas de verificação	Capacidade	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Liang et al. (2016)	Indústria	Interiores	Empresas	Diagnóstico	Integrado	Validado	Medidas específicas de melhoria
de Carolis (2017)	Indústria	Edificações	Casos de uso	Questionários	Maturidade	Verificado	Descritivo
Smits et al. (2017)	Indústria	Edificações	Casos de uso	Questionários	Maturidade	Verificado	Descritivo
Gökalp et al. (2017)	Indústria	Construção pesada	Projetos piloto	Observação	Integrado	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Mittal et al. (2018)	Academia	Infraestrutura	Especialistas	Entrevistas	Capacidade	Validado	Descritivo
Xue et al. (2018)	Academia	Maturidade BIM	Estudo de caso	Modelo preditivo BMP	Maturidade	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Wiesner et al. (2018)	Indústria	Planejamento urbano	Survey	Benchmarking	Capacidade	Verificado	Comparativo
Mollasalehi et al. (2018)	Indústria	Construção pesada	Projetos piloto	Observação	Integrado	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Babatunde et al. (2019)	Indústria	Arquitetura	Especialistas	Análise documental	Maturidade	Validado	Descritivo
Joblot et al. (2019)	Indústria	Organização (Setor de Renovação)	Estudo de caso	Questionários	Maturidade	Verificado	Descritivo
Ferraz et al. (2020)	Academia	Infraestrutura	Especialistas	Entrevistas	Capacidade	Validado	Descritivo
Dikhanbayeva et al. (2020)	Academia	Contratantes	Estatística	Workshop	Desempenho	Verificado	Comparativo

Modelo	Desenvolvimento	Aplicação	Validação	Ferramenta de avaliação	Tipologia MM	Confiabilidade/Avaliação	Praticidade
Santos e Martinho (2020)	Academia	Contratantes	Estatística	Workshop	Desempenho	Verificado	Comparativo
Sun et al. (2021)	Indústria	Múltiplos setores	Simulações	Listas de verificação	Capacidade	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Edirisinghe et al. (2021)	Academia	Contratantes	Estatística	Workshop	Desempenho	Verificado	Comparativo
Pereira et al. (2022)	Indústria	Empresas de AEC em Minas Gerais	Casos de uso	Questionários	Maturidade	Verificado	Descritivo
Dunel et al.(2022)	Academia	Programas de graduação	Casos de uso	Análise documental	Maturidade	Verificado	Descritivo
Rashidian et al. (2022)	Indústria	Edificações	Casos de uso	Questionários	Maturidade	Verificado	Descritivo
Alankarage et al. (2022)	Indústria	Múltiplos setores	Simulações	Listas de verificação	Capacidade	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Adekunle et al. (2023)	Academia	Contratantes	Estatística	Workshop	Desempenho	Verificado	Comparativo
Hein-pensel et al. (2023)	Academia	Contratantes	Casos de uso	Workshop	Maturidade	Verificado	Comparativo

Fonte - Elaborado pelo Autor.

A revisão dos 24 modelos de maturidade BIM revela que a maioria deles (11) foram desenvolvidos no ambiente acadêmico, seguido por empresas de consultoria (8). Apenas uma minoria deriva de normas técnicas ou esforços governamentais/consorciados. Isso denota a liderança das universidades no desenvolvimento conceitual dos modelos. Em relação às áreas de aplicação, observa-se dispersão - 3 modelos possuem abrangência multisetorial enquanto o restante concentra-se em nichos como infraestrutura, edifícios e construção pesada com a maior influência. No que tange à validação, predominam os casos de uso ou estudos de caso (9) para validação prática, com poucos casos de análise de especialistas (4) e métodos estatísticos (4). Os casos de uso referem-se a situações hipotéticas em que o modelo é aplicado, enquanto os estudos de caso envolvem a aplicação real do modelo em projetos ou empresas específicas (RIDDER, 2017). Ambos os enfoques são valiosos para avaliar a eficácia e a aplicabilidade dos modelos de maturidade BIM em diferentes contextos (KHOSROWSHAHI; ARAYICI, 2012). As ferramentas de avaliação mais utilizadas são entrevistas e questionários (7 modelos), revelando o uso predominante de instrumentos de survey, em oposição a métodos de observação, diagnóstico ou benchmarking mais sofisticados. Em relação às tipologias, observa-se uma predominância nos modelos de maturidade (11), seguidos pelos de capacidade (6), enquanto os modelos integrados representam uma minoria (3). Em suma, a amostra analisada demonstra pluralidade de vertentes conceituais e metodológicas no estudo da maturidade BIM, denotando amadurecimento intermediário e fragmentação da área. Em uma análise recente, a Tabela 7 destaca a avaliação de conteúdo dos MMBs atuais.

Tabela 7 – Análise de conteúdo dos Modelos de Maturidade de BIM atuais

Modelo	Mede	Tipo de Modelo	Dimensões	Indicadores	Níveis	Ferramenta de avaliação	Como foi construído	Se já foi aplicado	Questionário disponível
Afonso et al.(2013)	Desenvolver um modelo de maturidade BIM para fomentar cidades inteligentes (Recife, Curitiba e Porto Alegre).	MMBI4.0	3 dimensões - Água, Saúde, Educação	3 indicadores - Indicador - Água encanada Indicador - IDH Indicador - IDEB	5 níveis de maturidade - Simplificado, Gerenciado, Aplicado, Medido, Transformado 3 níveis de maturidade - 4 Áreas do Scorecard	Análise documental e Observação	Revisão da literatura	Sim	Não
Kam et al. (2013)	Avaliar a implementação de VDC em projetos da indústria AEC.	MMB	4 dimensões - Adoção, Tecnologia, Planejamento, Desempenho	5 indicadores - (Convencional, Típico, Avançado, Melhor, Prática Inovadora)	(Planejamento, Adoção, Tecnologia, Desempenho), 10 Divisões do Scorecard, 56 Medidas do Scorecard	Framework do VDC Scorecard	Pesquisas e observações existentes na prática	Sim	Não
Schumacher et al. (2016)	Avaliar o estado de preparação e maturidade em relação à Indústria 4.0	MMI4.0	9 dimensões - Estratégia, Liderança, Clientes, Produtos, Operações, Cultura, Pessoas, Governança, Tecnologia.	62 indicadores de maturidade distribuídos nas 9 dimensões	5 níveis de maturidade	Questionário de autoavaliação + ferramenta de software para calcular os níveis de maturidade e gerar relatórios	Abordagem multimétodos - revisão bibliográfica sistemática	Sim	Não

Liang et al. (2016)	Modelo multifuncional de maturidade BIM	MMB	Processo, produto, organização e tecnologia	8 indicadores, como planejamento BIM, modelagem BIM, análise BIM, gestão BIM	5 níveis, desde o nível 1 (inicial) até o nível 5 (otimizado)	Um questionário	Revisão da literatura e de uma análise de correlação entre os indicadores	Sim	Sim
de Carolis (2017)	Nível de maturidade	MMBI4.0	4 dimensões - Gerenciamento de operações de produção, Gerenciamento de estoques, Gerenciamento de operações de teste de qualidade e Gerenciamento de operações de manutenção	5 aspectos críticos para adoções de Manufatura Inteligente - maturidade tecnológica, maturidade de conectividade de informação, maturidade de processo, maturidade organizacional, e capacidade e maturidade de pessoal	5 níveis - Inicial, Gerenciado, Definido, Integrado e interoperável, Orientado para a digitalização	Três modelos - DREAMY, SMSRL e MOM Capability Maturity	Baseado em revisão de literatura	Sim	Sim
Gökalp et al. (2017)	Industry 4.0-MM	MMI4.0	4 - Processo de transformação, gestão de aplicativos, governança de dados, gestão de ativos e alinhamento organizacional	9 atributos de aspecto definidos, como integração vertical, integração horizontal, controle	6 níveis de capacidade adotados do SPICE, de Incompleto a Otimização	Não	Baseado no modelo SPICE, seguindo o padrão ISO/IEC 15504	Não	Não
Smits et al. (2017)	Maturidade BIM	MMB	3 dimensões - Gestão de projetos, Gestão da informação	Organizacional Tecnológica Processual Cultural	4 níveis Inicial, Estruturado, Transparente, Integrado	Matriz de maturidade BIM	Baseado em uma revisão da literatura e entrevistas com especialistas	Sim	Sim

			E		Gestão da construção				
Mittal et al. (2018)	Nível de maturidade da Manufatura Inteligente (SM) e Indústria 4.0	MMI4.0	Pequenas e Médias Empresas (PMEs)	16 requisitos específicos para PMEs de manufatura	Propõe um “nível 0” para refletir o ‘nível base real’ para PMEs	Modelos de maturidade e avaliações de prontidão podem ser associados a um kit de ferramentas SM	Revisão de literatura, análise de modelos de maturidade	Sim, em PMEs	Não
Xue et al. (2018)	Modelo de Previsão da Maturidade BIM (BMP)	MMB	5 dimensões - (Estabelecer escala, estabelecer níveis de granularidade, Isolar áreas de competência, Isolar níveis de maturidade e Gerar relatório de maturidade)	10 indicadores - Projeto Organização Unidade organizacional Descoberta Avaliação Certificação Auditoria Modelagem Colaboração Integração	5 níveis de maturidade de (Inicial, Definido, Gerenciado, Integrado, Otimizado)	Questionários, entrevistas e observações.	A framework foi baseada em uma análise da literatura e na experiência prática da Succar.	Sim	Não
Wiesner et al. (2018)	Modelo de maturidade para a digitalização	MMI4.0	Estratégia, tecnologia, organização e pessoas	10 indicadores, como estratégia digital, infraestrutura digital, processos digitais, competências digitais	4 níveis, desde o nível 1 (iniciante) até o nível 4 (líder)	Um questionário	Revisão da literatura e de uma adaptação dos modelos de maturidade existentes	Sim	Sim
Mollasalehi et al. (2018)	IDEAL - Integrated BIM and Lean Maturity Model	MMBI4.0	4 dimensões - Organização Tecnologia Pessoas Cultura	4 - Conscientização Integração Eficácia Eficiência	5 níveis Inicial Definido Avançado Integrado Otimizado	Questionário IDEAL	Baseado na revisão de modelos de maturidade	Sim	Sim

Babatunde et al. (2019)	Modelo de maturidade BIM entre as empresas de AEC	MMB	4 dimensões - Processo, produto, organização e tecnologia	7 indicadores, como planejamento BIM, modelagem BIM, colaboração BIM, gestão BIM	3 níveis, desde o nível 1 (baixo) até o nível 3 (alto)	Um questionário	existentes de BIM e Lean Revisão da literatura e de uma adaptação do modelo BIM Quick Scan	Sim	Sim
Joblot et al. (2019)	Desenvolver um modelo de maturidade BIM adaptado para o setor de renovação.	MMB	5 dimensões - Gerenciamento de mudanças, Troca de dados, Treinamento da equipe, Implementação de indicadores para gerenciar projetos, Melhoria contínua	7 indicadores - Estratégia, Fundamentos, Colaboração, Processo, Pessoas, Tecnologia, Padrões, Ferramentas e Recursos de Capacitação	4 níveis - Escala (0%-100%) Fundamentos, Estratégia, Recursos humanos, Colaboração, Processos de negócios, Tecnologia, Funcionalidades direcionadas, Padrões e procedimentos, Maturidade da convenção BIM	Questionários	Revisão da literatura e de uma adaptação do modelo BIM Maturity Matrix	Sim	Sim
Dikhanbayeva et al. (2020)	Modelo de Maturidade da Indústria 4.0	MMI4.0	3 indicadores - Capacidades de pessoal, liderança e colaboração	8 indicadores - Interoperabilidade, Virtualização, Descentralização, Capacidade em tempo real, Orientação de serviços, Modularidade, Produto inteligente, Responsabilidade social corporativa	4 níveis Básica, Baixa, Moderada e Alta	Análise documental	Revisão sistemática da literatura	Não	Não

Ferraz et al. (2020)	Maturidade BIM	MMB	2 dimensões - Organizacional, Tecnológica	4 Estratégia de informação, Gestão de dados, Gestão de conhecimento	4 níveis Inicial, Em desenvolvimento, Avançado, Otimizado	Questionário	Através de uma revisão da literatura e de entrevistas	Sim	Sim
Santos e Martinho (2020)	Avaliar o nível de maturidade na implementação da Indústria 4.0.	MMI4.0	8 dimensões - Estratégia, estrutura, cultura organizacional ; Força de trabalho; Fábricas inteligentes; Processos inteligentes; Produtos e serviços inteligentes	Indicadores (número por dimensão) - Estratégia, estrutura e cultura organizacional (7) Força de trabalho (5) Fábricas inteligentes (7) Processos inteligentes (7) Produtos e serviços inteligentes (6)	6 níveis de maturidade de 0 a 5	Questionário	Revisão da literatura	Sim	Sim
Edirisinghe et al. (2021)	Modelo de maturidade para o ciclo de vida BIM (LCBMM)	MMB	Processo, produto, organização e tecnologia	12 indicadores, como planejamento BIM, modelagem BIM, colaboração BIM, interoperabilidade BIM,	5 níveis, desde o nível 1 (inicial) até o nível 5 (otimizado)	Um questionário	Abordagem de rede de atores, relações entre os diferentes agentes envolvidos no ciclo de vida BIM	Não	Não
Sun et al. (2021)	Modelo BIM para Avaliação Inicial em Projetos de Construção	MMB	3 dimensões - Tecnologia, Sociedade e Participantes	10 indicadores - Software, Hardware, Rede, Leis, Padrões, Políticas, Habilidade Pessoal, Experiência do Gerente, Requisitos e Investimentos do Proprietário, Método de Entrega	4 níveis - Inviabilidade, Dispersão, Integração e Maturidade	Questionário de autoavaliação + modelo para calcular os níveis de maturidade	Revisão de literatura, entrevistas com especialistas, modelagem conceitual	Sim	Não

Rashidian et al. (2022)	Modelo de compatibilidade entre os modelos de maturidade BIM	MMBI4.0	Processo, produto, organização e tecnologia	9 indicadores, como alinhamento de objetivos, gestão de fluxo, integração de equipes, uso de ferramentas BIM, etc.	3 níveis, desde o nível 1 (baixo) até o nível 3 (alto)	Um questionário	A partir de uma revisão da literatura e de uma análise de compatibilidade entre os modelos	Não, foi proposto como um modelo analítico, mas não foi aplicado em nenhum projeto	Sim, o questionário está disponível no apêndice do artigo
Alankarage et al. (2022)	Modelo de maturidade BIM organizacional	MMBI4.0	Pessoas, Processos, Tecnologia e Política	25 indicadores relacionados às dimensões	5 níveis	Questionário	Revisão sistemática da literatura	Não mencionado	Não
Pereira et al. (2022)	Avaliar a maturidade do BIM em empresas de AEC em Minas Gerais	MMB	3 dimensões - Tecnologias, Processos, Políticas e Escala macro	3 indicadores - Nível de maturidade, Classificação textual, Classificação numeral	5 níveis - inicial, definido, gerenciado, integrado e otimizado	Questionários	Revisão de literatura	Sim	Não
Dunel et al.(2022)	Desenvolver um modelo de maturidade BIM estratégico e integrado para Salvador	MMB	3 dimensões - Processos, Política, Tecnologia	3 indicadores - Índice de maturidade, Nível de maturidade, Classificação textual	5 níveis - pré-BIM, inicial, definido, integrado e otimizado	Análise documental	Revisão de literatura	Sim	Não
Hein-pensel et al. (2023)	Modelo de maturidade	MMI4.0	Interação homem-máquina, sustentabilidade, segurança e ética	15 indicadores, como colaboração homem-máquina, eficiência energética, proteção de dados, responsabilidade social,	4 níveis, desde o nível 1 (básico) até o nível 4 (avançado)	Um questionário	A partir de uma revisão da literatura	Não	Sim

Adekunle et al. (2023)	Maturidade do BIM em países em desenvolvimento.	MMB	4 dimensões - Organizacional, Tecnológica, Política, Cultural	16 indicadores - Estratégia, Liderança, Treinamento, Gestão de projetos, Gestão de dados, Gestão de mudanças, Arquitetura de informação, Software, Integração de sistemas, Segurança, Regulamentação, Financiamento, Promoção, Atitude, Colaboração, Inovação	4 níveis - Inicial, Desenvolvimento, Otimização	Questionário	Revisão da literatura, Avaliado por especialistas	Sim	Sim
------------------------	---	-----	---	---	---	--------------	---	-----	-----

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Os dados correspondem a 24 modelos de maturidade relacionados à I4.0, Manufatura Inteligente, BIM e digitalização. Esses modelos visam avaliar o grau de adoção e implementação dessas tecnologias e metodologias em diferentes tipos de organizações ou empresas, bem como identificar áreas de melhoria e estratégias para alcançar níveis superiores de maturidade. Os modelos variam em vários aspectos, como as dimensões ou áreas consideradas, os indicadores ou requisitos definidos, os níveis de maturidade estabelecidos, a ferramenta de avaliação utilizada, a forma como foram construídos e se foram ou não aplicados na prática.

Algumas semelhanças e diferenças entre os modelos são -

- A maioria dos modelos tem entre 3 e 5 dimensões ou áreas, embora alguns tenham mais, como o de SIEBELINK *et al.* (2018), com 5, ou o de SMITS *et al.* (2017b), com 3. As dimensões mais comuns estão relacionadas a estratégia, tecnologia, organização, pessoas e processos, mas também há outras, como interação homem-máquina, sustentabilidade, segurança e ética, consideradas pelo modelo de HEIN-PENSEL *et al.* (2023).
- A maioria dos modelos tem entre 4 e 6 níveis de maturidade, geralmente indo de um nível inicial ou básico a um nível avançado ou otimizado, passando por diferentes etapas intermediárias. Alguns modelos têm menos níveis, como o de BABATUNDE *et al.* (2019), com 3, ou o de DE CAROLIS *et al.* (2017), com 3. Outros modelos não têm níveis definidos, como o de DIKHANBAYEVA *et al.* (2020), que propõe um modelo de maturidade sem níveis.
- A ferramenta de avaliação mais comum é o questionário, utilizado por 14 dos 24 modelos. Os questionários costumam ser baseados em escala Likert ou matriz de maturidade e permitem obter pontuação ou nível de maturidade para cada dimensão ou indicador. Os outros 10 modelos não mencionam ou não têm ferramenta específica, ou utilizam software para calcular níveis de maturidade e gerar relatórios, como o de SCHUMACHER *et al.* (2016).
- A forma mais frequente de construir os modelos é a partir de revisão de literatura, empregada por 14 dos 24 modelos. Os outros 10 modelos baseiam-se em pesquisa empírica, modelo existente, análise de compatibilidade, abordagem de rede de autores, opinião de especialistas ou adaptação de modelos existentes.

- Apenas 9 dos 24 modelos foram aplicados em algum caso real, enquanto os outros 15 não foram aplicados ou não indicam. Modelos aplicados costumam apresentar resultados obtidos e lições aprendidas em diferentes organizações ou projetos, bem como limitações e desafios encontrados.
- Apenas 8 dos 24 modelos têm questionário disponível, enquanto 16 não têm ou não fornecem. Questionários disponíveis costumam estar incluídos em apêndice de artigos ou site.

De forma integral, a análise evidencia um nível positivo de satisfação em relação à capacidade dos modelos BIM para avaliar maturidade na Indústria 4.0. Destacam-se fortalezas em Relevância, Integridade e Clareza de Níveis.

No entanto, também se identificam oportunidades marginais de melhoria nas áreas de Métodos Descritivos, Objetividade e Acessibilidade. Esses critérios mostraram maior variabilidade e dispersão nas pontuações entre modelos, sugerindo lacunas na robustez das ferramentas de avaliação.

Sobre os métodos e acessibilidade, os modelos de HEIN-PENSEL *et al.* (2023); RASHIDIAN *et al.* (2022); SANTOS *et al.* (2021); SCHUMACHER *et al.* (2016) provêm as soluções mais integrais, sendo este último completamente aberto. Apesar disso, a maioria exhibe processos e conteúdos adequados de diagnóstico.

Por fim, de forma transversal em todos os critérios, os modelos de DIKHANBAYEVA *et al.* (2020); GÖKALP *et al.* (2017); HEIN-PENSEL *et al.* (2023); SCHUMACHER *et al.* (2016); SUN *et al.* (2021) se posicionam como os mais sólidos e efetivos para avaliar preparação para a transformação digital.

2.2.3.1 Análise de conteúdo dos MM com BIM na indústria

A seguir, apresentamos uma análise comparativa de nove modelos de maturidade BIM desenvolvidos pela indústria, obtida a partir de uma revisão abrangente que incluiu literatura acadêmica e grey literature. Esses modelos avaliam capacidades BIM em termos de tecnologia, processos, políticas e colaboração, oferecendo ferramentas estruturadas para medir o progresso e estabelecer roteiros para a melhoria contínua na construção (LIANG *et al.*, 2016), a Tabela 8 destaca a avaliação de conteúdo dos MMBs.

Tabela 8 – Análise dos Modelos de Maturidade BIM na Indústria

No	Modelo	Mede	Dimensões	Indicadores	Níveis	Ferramenta de avaliação	Aplicação	Se já foi aplicado
1	National BIM Standard Capability Maturity Model (NBIMS-US) (MCCUEN et al., 2012)	Capacidades BIM	Várias dimensões técnicas e gerenciais (Tecnologia, Processos, Políticas, Pessoas) 5 dimensões principais (projeto, estrutural, mecânica, elétrica, saúde pública, fachadas, geotecnia e iluminação)	Indicadores técnicos, gerenciais, organizacionais	10 níveis (0 a 9) em diferentes categorias (Tecnologia, Processos, Políticas, Pessoas)	Auto-avaliação	Projetos	Sim
2	BIM Maturity Matrix (Arup) (AZZOUZ et al., 2016)	Maturidade BIM	7 dimensões principais (Estratégia, Processos, Pessoas, Tecnologia, Política, Colaboração, Resultados)	Indicadores de Maturidade BIM do Projeto, Plano de Execução BIM, Rota de Aquisição do Projeto, Estratégia de Marketing e Contrato BIM	5 níveis (0 Não Existente, 1 Inicial, 2 Gerenciado, 3 Definido, 4 Medido e 5 Otimizado)	Auto-avaliação	Projetos	Sim
3	BIM Maturity Matrix (Bim3) (SUCCAR, 2010a)	Maturidade BIM	4 dimensões principais (Estratégia, Processos, Pessoas, Resultados)	Indicadores de processo, tecnologia, pessoas, políticas, estratégia, colaboração e resultados	5 níveis (Nível 0 - Inexistente, Nível 1 - Inicial, Nível 2 - Definido, Nível 3 - Gerenciado, Nível 4 - Integrado)	Auto-avaliação	Organizações	Sim
4	BIM Quick Scan (BIMQS) (SEBASTIAN; VAN BERLO, 2010)	Maturidade BIM		Indicadores de processo, tecnologia, pessoas, políticas e estratégia	5 níveis (Nível 1 - Ad hoc, Nível 2 - Definido, Nível 3 - Gerenciado,	Ferramenta online	Organizações	Sim

5	BIM maturity framework (BIMMF) (DAKHIL; ALSHAWI, 2014)	Maturidade BIM	Pessoas, Tecnologia) 4 dimensões principais (Tecnologia, Processos, Políticas, Pessoas)	Indicadores de processo, tecnologia, pessoas e políticas	Nível 4 - Integrado, Nível 5 - Otimizado) 5 níveis (Nível 1 - Inicial, Nível 2 - Definido, Nível 3 - Gerenciado, Nível 4 - Integrado, Nível 5 - Otimizado)	Ferramenta de auto-avaliação	Organizações	Sim
6	BIMAsset Maturity Model (BAMM) (MUNIR et al., 2019)	Maturidade BIM	4 dimensões principais (Organização, Pessoas, Processos, Tecnologia)	Indicadores de processo, tecnologia, pessoas, políticas e organização	5 níveis (Nível 1 - Inicial, Nível 2 - Definido, Nível 3 - Gerenciado, Nível 4 - Integrado, Nível 5 - Otimizado)	Auto-avaliação	Organizações	Sim
7	Structural Equation Model of Building Information Modeling Maturity (SEMBIMMM) (CHEN et al., 2016)	Maturidade BIM	Várias dimensões (Gerenciamento de Processo, Gerenciamento de Tecnologia e Gerenciamento de Informação)	Indicadores de padronização, especificação, papéis e responsabilidades, gerenciamento de riscos, equipamentos de hardware, atualização de hardware, aplicativos de software, interoperabilidade, fluxo de trabalho, riqueza dos dados, atualização da informação e gerenciamento de mudanças	Múltiplos níveis com base em equações estruturais (inexistente, inicial, repetível, definido, gerenciado, integrado e otimizado)	Questionário	Projetos	Sim
8	BIM Excellence (CHANGE AGENTS AEC, 2013)	Maturidade BIM	Várias dimensões (competência, capacidade, indivíduos, organizações, equipes e projetos)	Indicadores de processo, tecnologia, pessoas, políticas, estratégia e governança	5 níveis (competência individual, sistemas organizacionais, e desempenho)	Ferramenta online	Organizações Projetos	Sim

9	BIM proficiency matrix (INDIANA UNIVERSITY ARCHITECT'S OFFICE, 2009)	Proficiência BIM	4 dimensões principais (BIM para Projeto, BIM para Documentação, BIM para Construção, BIM para Operações)	Indicadores de processo e tecnologia em cada fase do ciclo de vida da construção	5 níveis (Nível 1 - Básico, Nível 2 - Intermediário, Nível 3 - Avançado, Nível 4 - Colaborativo, Nível 5 - Integrado)	Auto-avaliação	Organizações Projetos	Sim
Fonte - Elaborado pelo Autor.								

A análise dos modelos de maturidade BIM revela uma estrutura comum baseada em dimensões principais que abrangem aspectos técnicos, organizacionais, de processos e de colaboração. A maioria dos modelos incluem dimensões relacionadas com tecnologia, processos, políticas e pessoas, destacando a importância de uma abordagem integral para alcançar uma implementação bem-sucedida de BIM. Cada modelo propõe uma escala de níveis de maturidade que varia desde o nível inicial ou inexistente até o nível otimizado ou integrado. Esses níveis permitem às organizações avaliarem seu progresso na adoção de BIM e estabelecer objetivos claros para avançar em direção a uma maior maturidade. A prevalência de 4 a 5 níveis de maturidade nos modelos fornece um quadro de referência comum para a avaliação e comparação das capacidades BIM.

Os modelos de maturidade BIM incorporam uma série de indicadores específicos para cada dimensão, permitindo medir objetivamente o desempenho e o progresso na implementação de BIM. Esses indicadores abrangem desde a padronização de processos e adoção de tecnologias até a definição de papéis e responsabilidades e a colaboração entre os diferentes atores do projeto. Além disso, algumas metodologias incluem ferramentas de autoavaliação online ou questionários, facilitando a coleta de dados e a medição da maturidade BIM.

Um aspecto notável dos modelos analisados é sua aplicabilidade em diferentes contextos, seja em projetos individuais, organizações ou até mesmo em nível nacional. Modelos como o National BIM Standard Capability Maturity Model (NBIMS-US) e o BIM Excellence, desenvolvidos por organizações reconhecidas, foram aplicados em diversos países, demonstrando sua relevância e adaptabilidade a diferentes ambientes.

Apesar da diversidade e solidez dos modelos de maturidade BIM existentes, a análise identifica algumas lacunas e oportunidades de melhoria. A maioria dos modelos foca principalmente em aspectos tradicionais de BIM, como colaboração, gestão da informação e processos, mas não abordam explicitamente a integração com tecnologias emergentes da Indústria 4.0 ou considerações de sustentabilidade. A incorporação de dimensões relacionadas com tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e Realidade Virtual/Aumentada (VR/AR), bem como indicadores de desempenho ambiental, social e econômico, permitiria o desenvolvimento de um modelo mais completo e alinhado com as demandas atuais e futuras da indústria da construção.

2.2.4 Análise de conteúdo dos principais estudos de MM com BIM e sustentabilidade

BIM tem um potencial considerável para abordar problemas de sustentabilidade na construção, mas seus benefícios podem ser limitados pela falta de adoção de BIM durante todo o ciclo de vida do projeto (EDIRISINGHE *et al.*, 2021). Existe um consenso crescente entre os pesquisadores sobre sua compreensão das dimensões (D) ou seja, 4D e 5D, mas pouco consenso sobre o que são 6D e 7D; portanto, estas “duas áreas ainda estão em sua infância, ilustradas por algumas ambiguidades às quais essas dimensões BIM se referem” (MONTIEL-SANTIAGO *et al.*, 2020). Nesse sentido, foi realizada uma análise dos principais estudos de Modelos de Maturidade com BIM e sustentabilidade, seguindo os critérios de avaliação estabelecidos pela ISO e as diretrizes da norma (ISO, 2015). Os critérios de avaliação foram desenvolvidos para os Modelos de Maturidade BIM atuais segundo GÖKALP e MARTINEZ (2022) mostrado na Figura 9.

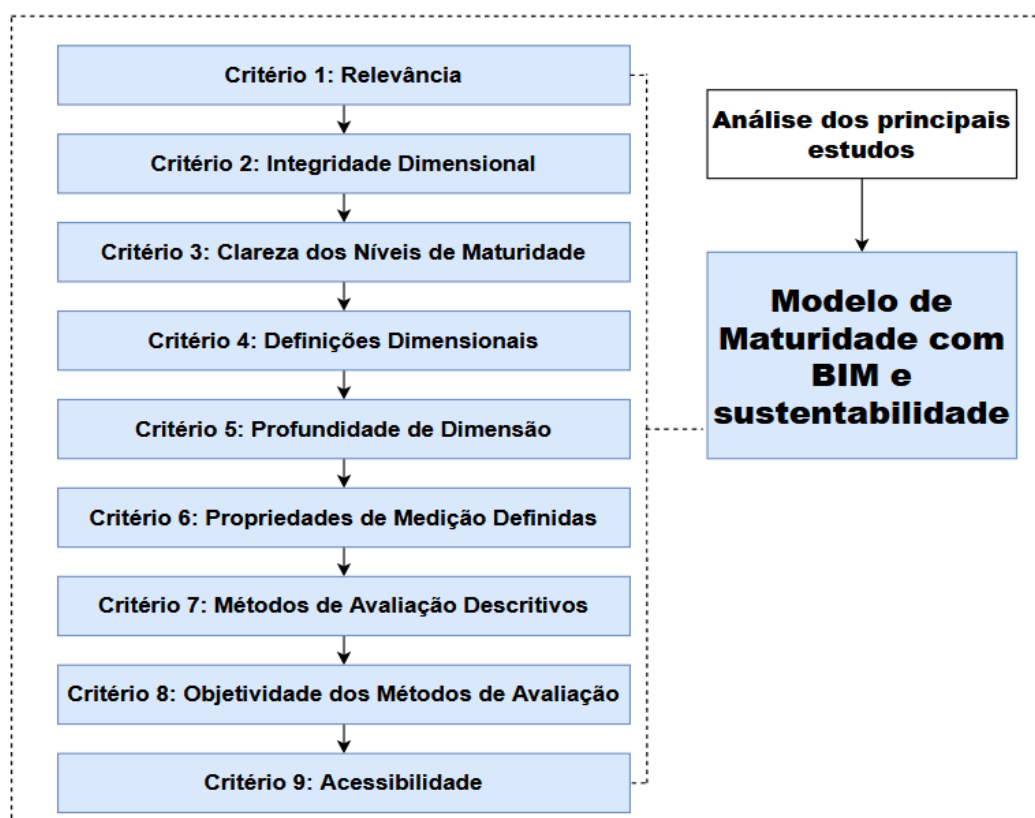


Figura 9 – Os critérios de avaliação. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

As análises dos Modelos de Maturidade BIM voltados para a sustentabilidade estão apresentadas na Tabela 3, e os resultados dessas avaliações foram resumidos na

Tabela 9. Cada critério foi avaliado utilizando uma escala Likert de 5 pontos, com as seguintes categorias - (-) Não se aplica; (1) Totalmente insatisfeito; (2) Ligeiramente satisfeito; (3) Moderadamente satisfeito; (4) Muito satisfeito; (5) Completamente satisfeito. Essa adaptação é baseada no trabalho de GÖKALP e MARTINEZ (2022).

Tabela 9 – A avaliação dos Modelos de Maturidade com BIM e sustentabilidade

Modelo	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8	Critério 9
Opoku e Fortune (2011)	3	4	2	3	4	1	2	3	5
Terouhid e Ries (2016)	5	3	4	4	3	5	3	5	3
Mollasalehi et al. (2018)	3	2	3	2	4	2	1	2	5
Ma et al.(2019)	2	3	2	3	2	3	1	2	4
Badawy (2020)	3	4	5	4	5	3	4	2	1
Böes et al. (2021)	3	4	4	5	3	2	4	3	2
Mohammed (2022)	3	4	5	4	5	3	4	2	1
Sun et al. (2022)	2	1	3	2	1	3	2	1	4
Brahim et al. (2023)	4	5	4	3	3	4	3	4	2
Sternad Zabukovšek et al. (2023)	3	5	2	2	3	4	5	4	1
Chen et al. (2024)	4	3	2	4	4	2	3	2	3

Fonte - Elaborado pelo Autor.

A análise revelou que, embora modelos como os de TEROUHID e RIES (2016), BADAWEY (2020), BÖES *et al.* (2021) e MOHAMMED (2022) tenham pontos fortes em determinados critérios, nenhum deles atende de forma equilibrada a todos os requisitos estabelecidos de relevância, integralidade, clareza, definições, profundidade, métricas, avaliação e acessibilidade.

Especificamente, a relevância para a sustentabilidade e a integralidade das dimensões técnicas e gerenciais são limitadas na maioria dos modelos, como os de MOLLASALEHI *et al.* (2018), MA *et al.* (2019) e SUN *et al.* (2022). A clareza na interpretação dos níveis de maturidade é deficiente em OPOKU e FORTUNE (2011), MA *et al.* (2019) e CHEN *et al.* (2024). Faltam definições detalhadas das dimensões e atributos nos modelos de STERNAD *et al.* (2023), SUN *et al.* (2022) e MOLLASALEHI *et al.* (2018).

A profundidade para orientar melhorias é insuficiente em SUN *et al.* (2022), OPOKU e FORTUNE (2011), CHEN *et al.* (2024) e MA *et al.* (2019), assim como as métricas para medição objetiva. Os métodos de avaliação carecem de estrutura, detalhes e objetividade na maioria, exceto em BÖES *et al.* (2021), MOHAMMED (2022) e STERNAD *et al.* (2023). A acessibilidade é problemática em TEROUHID e RIES (2016), STERNAD *et al.* (2023) e BRAHIM *et al.* (2023).

Estas lacunas sinalizam oportunidades de aprimoramento e podem orientar o desenvolvimento de um novo modelo de maturidade em sustentabilidade. Tal modelo deveria contemplar integralmente requisitos multidimensionais técnicos e gerenciais, com definições e métricas claras, nível de detalhe suficiente e métodos acessíveis de autoavaliação e diagnóstico para melhoria contínua.

A integração equilibrada desses atributos permitiria direcionar organizações para níveis crescentes de sustentabilidade, apoiando suas jornadas baseadas em evidências. Assim, um novo modelo aprimorado se faz necessário, focando em suprir as limitações identificadas nesta análise, constituindo uma estrutura abrangente para impulsionar práticas genuinamente sustentáveis.

Em outra categoria apresentada na Tabela 10, também foi obtido o seguinte resultado, conforme mostrado na tabela abaixo -

Tabela 10 – Análise dos critérios de avaliação

Critério	Média	Moda	Mediana	Faixa	Dispersão (Faixa Interquartil)
Relevância	3,2	3	3	1-5	Alta
Integridade Dimensional	3,5	4	4	1-5	Alta
Clareza de Níveis	3,3	3	3	1-5	Alta
Métodos Descritivos	3,2	3	3	1-5	Alta
Objetividade	3,4	3	3	1-5	Alta
Acessibilidade	3,0	3	3	1-5	Alta

Fonte - Elaborado pelo Autor.

De maneira geral, observa-se que a relevância, integridade dimensional e clareza dos níveis se destacam positivamente, com médias entre 3,3 e 3,5. Porém, os métodos descritivos de avaliação, a objetividade e a acessibilidade têm médias mais baixas, entre 3,2 e 3,0, sinalizando deficiências importantes.

Os resultados mostram uma alta variação e falta de modelos consistentemente superiores. Essas limitações evidenciam a necessidade de um novo modelo de maturidade em sustentabilidade, que integre pontos fortes e supere lacunas identificadas.

Este novo modelo deve equilibrar relevância, abrangência e clareza, utilizando ferramentas acessíveis e métodos objetivos de diagnóstico. Isso significa construir sobre as bases existentes em termos de dimensões e conceitos, com foco na melhoria da usabilidade, redução da subjetividade e aumento da precisão na orientação.

A proposta é disponibilizar um modelo consolidado, que dê melhores condições práticas para que organizações avaliem e aprimorem concretamente sua maturidade em sustentabilidade. Ao atender a esses requisitos de forma equilibrada, tal modelo orientará os esforços de forma customizada, com direcionadores específicos e realistas para a evolução.

Assim, essa evolução dos modelos atuais é fundamental para destravar ainda mais o potencial da sustentabilidade corporativa, contribuindo para um desenvolvimento verdadeiramente responsável e regenerativo da sociedade e do planeta.

Em uma nova análise, a Tabela 11 destaca a distribuição de cinco tipos de pesquisas.

Tabela 11 – Objetivos da pesquisa sobre o modelo de maturidade do BIM

Modelo	Desenvolvimento	Aplicação	Validação	Ferramenta de avaliação	Tipologia MM	Confiabilidade/ Avaliação	Praticidade
Opoku e Fortune (2011)	Academia/Indústria	Em estudos de caso	Especialistas da indústria	Checklist	Integração	Verificado	Recomendações gerais
Terouhid e Ries (2016)	Academia	Simulações, propõe uma ferramenta de apoio à decisão	Especialistas	Entrevistas semiestruturadas, modelagem e tomada de decisão	Integração	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Mollasalehi et al. (2018)	Academia	Simulações	Alpha	Checklist digital	Performance	Não testado	Recomendações gerais
Ma et al.(2019)	Por academia	Em estudos de caso	Estudo empírico	Plug-in de avaliação (Revit 2016)	Capacidade	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Badawy (2020)	Academia	Estudos de caso	Com especialistas	Questionário estruturado	Integração e Colaboração	Verificado	Recomendações gerais
Böes et al. (2021)	Academia	Simulações	Alpha e Beta	Software com dashboard	Capacidade	Verificado	Medidas específicas de melhoria
Mohammed (2022)	Academia	Estudos de caso	Alpha	Questionários impressos	Capacidade	Não testado	Recomendações gerais
Sun et al. (2022)	Academia/Governo	Simulações	Com especialistas	Relatórios	Performance	Verificado	Descritivo
Sternad Zabukovšek et al. (2023)	Academia	Estudos de caso	Alpha	Planilhas	Capacidade	Não testado	Recomendações gerais
Brahim et al. (2023)	Academia/Indústria	Estudos de caso	Gestores	Planilhas	Performance	Verificado	Descritivo
Chen et al. (2024)	Academia/Governo	Simulações	Especialistas	Software prototipado	Performance	Não transparente	Comparativo

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Observa-se que a maioria dos modelos de maturidade analisados foram desenvolvidos academicamente, com enfoque em sustentabilidade ou em aspectos específicos da Quarta Revolução Industrial. As ferramentas disponibilizadas são majoritariamente planilhas e softwares especializados para avaliação.

A principal limitação é a falta de integração profunda entre sustentabilidade e as tecnologias emergentes nesses modelos, o que seria essencial para orientação sistêmica das organizações contemporâneas. Além disso, eles não são customizáveis, escaláveis e continuamente atualizados.

Assim, justifica-se a proposta de um novo modelo de maturidade combinando sustentabilidade e as inovações da Quarta Revolução Industrial de forma orientada para a ação. Seria como uma “espinha dorsal” para evolução neste contexto, incorporando tecnologias como inteligência artificial, internet das coisas, robótica, entre outras, para aumentar o desempenho socioambiental das organizações.

Trata-se de suprir a lacuna por uma estrutura unificada e estado da arte entre sustentabilidade e indústria de ponta, catalisando melhorias efetivas por meio de estágios claros de maturidade.

Em uma análise recente, a Tabela 12 destaca a avaliação do conteúdo presente nos atuais Modelos de Maturidade BIM.

Tabela 12 – Análise de conteúdo dos Modelos de Maturidade de BIM atuais

Modelo	Mede	Dimensões	Indicadores	Níveis	Ferramenta de avaliação	Como foi construído	Se já foi aplicado	Questionário disponível
Opoku e Fortune (2011)	Aprendizagem Organizacional e Sustentabilidade na Indústria da Construção	3 - Aprendizagem Organizacional, Maturidade Organizacional, Sustentabilidade	2 - Revisões Pós-Projeto, Avaliações Pós-Ocupação	5 - Inicial, Repetível, Definido, Gerenciado e Otimizado	Checklist	Estudo piloto exploratório, Entrevistas semiestruturadas com 8 profissionais	Sim	Não
Böes et al. (2021)	Maturidade BIM em instituições de ensino superior	3 - Pessoas, Processos e Tecnologia	9 - Competências, Estratégia, Cultura, etc.	5 - Inexistente, Inicial, Definido, Gerenciado e Otimizado	Modelo de maturidade BIM baseado em um questionário online	Revisão da literatura e em uma pesquisa com especialistas	Sim	Sim
Terouhid e Ries (2016)	Modelo de maturidade para a excelência em sustentabilidade e organizacional	3 - desempenho econômico, desempenho ambiental, desempenho social.	5 - Liderança, Política e Estratégia, Pessoas, Parceria e Processo.	5 - Inicial, Repetível, Definido, Gerenciado e Otimizado	Entrevistas semiestruturadas, modelagem e tomada de decisão	Revisão da literatura e em uma análise comparativa	Não	Não
Ma et al.(2019)	Avalia a maturidade da capacidade de resposta de emergência a incêndios em edifícios em diferentes níveis	4 dimensões - gestão de processos, gestão de informações, gestão de recursos e gestão de tempo	21 áreas-chave de processo como indicadores para as diferentes dimensões e níveis de maturidade	5 níveis - inicial, crescimento, padrão, quantificação e otimização.	Um plug-in FE-CMM foi desenvolvido no Revit para permitir a avaliação inteligente e prática	Revisão da literatura, pesquisa de campo e envolvimento de especialistas.	Sim	Não

Mollasalehi et al. (2018)	Desenvolvimento de um modelo integrado de maturidade BIM e lean Aplicação de BIM para alcançar a sustentabilidade e ao longo do ciclo de vida de um edifício	4 - Estratégia, Processo, Tecnologia e Pessoas	16 - Visão, Objetivos, Governança, etc.	5 - Inicial, Consciente, Definido, Gerenciado e Excelente	Modelo de maturidade BIM e lean baseado em uma abordagem integrada	Revisão da literatura e em uma pesquisa com especialistas	Não	Não
Mohammed (2022)		3 - Ambiental, Econômica e Social	9 - Emissões, Resíduos, Energia, etc.	Não	Um modelo de BIM sustentável baseado em uma abordagem de ciclo de vida	Revisão da literatura e em uma modelagem conceitual	Não	Não
Brahim et al. (2023)	Maturidade BIM existente	5 - Estratégia, Processo, Tecnologia, Pessoas e Organização	25 - Visão, Objetivos, Governança, etc.	5 - Inicial, Consciente, Definido, Gerenciado e Excelente	modelo de maturidade BIM baseado em uma revisão narrativa sistemática	Revisão da literatura e em uma análise de conteúdo	Não	Não
Chen et al. (2024)	Maturidade BIM probabilística	4 - Estratégia, Processo, Tecnologia e Pessoas	16 - Visão, Objetivos, Governança, etc.	5 - Inicial, Consciente, Definido, Gerenciado e Excelente	Modelo de maturidade BIM baseado em uma abordagem de otimização multiobjetivo	Revisão da literatura e em uma modelagem matemática	Não	Não
Sternad Zabukovšek et al. (2023)	Modelo de maturidade para o gerenciamento do ciclo de vida	2 Gestão de documentos e transformação digital	10 indicadores baseados na estrutura de gerenciamento do ciclo de vida	5 níveis - inicial, emergente, desenvolvido, maduro e avançado	Questionário de autoavaliação	Revisão da literatura e na experiência dos autores	Sim	Sim

Sun et al. (2022)	Mede a maturidade de gestão de projetos (PBM) e a maturidade de aplicação BIM em projetos (PBA)	8 - desempenho de stakeholder, equipe, abordagem e ciclo de vida de desenvolvimento, planejamento, trabalho de projeto, entrega, medição e incerteza.	37 das 8 dimensões de desempenho do PMBOK	5 - níveis de maturidade para PBM e PBA.	Questionário	Baseado na estrutura PMBOK e modelo COBIT, validado por estudo piloto.	Sim	Sim
Badawy (2020)	Maturidade BIM e colaboração	Processos, tecnologia, política, pessoas	Uso de modelagem 4D, 5D e 6D, colaboração interdisciplinar, políticas BIM	5 níveis - Inicial, Definido, Gerenciado, Integrado, otimizado	Questionário estruturado	Baseado em modelos existentes de maturidade BIM e sustentabilidade	Sim	Não

Fonte - Elaborado pelo autor.

A análise de vários modelos de maturidade BIM sustentável revela uma diversidade de abordagens e dimensões utilizadas para avaliar a integração do BIM com a sustentabilidade em diferentes contextos. Embora modelos como o de EDIRISINGHE *et al.* (2021) adotem uma abordagem abrangente, abarcando o ciclo de vida do projeto e aplicando questionários a uma rede de partes interessadas, a falta de implementação e disponibilidade prática desses questionários limita sua utilidade. Outros, como o modelo de CHONG *et al.* (2017), focado na adoção do BIM para a sustentabilidade, oferecem uma compreensão conceitual sólida, mas carecem de aplicabilidade real diante da ausência de ferramentas de avaliação.

Diante desse panorama, surge a necessidade de um novo modelo de maturidade que corrija essas limitações, incorporando também a resiliência e o fator humano, estabelecendo assim uma transição para paradigmas emergentes de construção sustentável. Além dos diversos enfoques atuais, um modelo integral deve priorizar a superação de lacunas na aplicabilidade e disponibilidade de métricas, tornando-se imperativo incorporar integralmente a resiliência e as dinâmicas das equipes de trabalho.

Esse enfoque holístico permitirá avaliar efetivamente a integração BIM-sustentabilidade, adaptando-se também a desafios futuros e garantindo uma transição fluida para a construção sustentável. Ao considerar essas dimensões críticas, o novo modelo catalisará a adoção de práticas ambientalmente responsáveis e socialmente inclusivas, estabelecendo bases sólidas para uma implementação significativa da sustentabilidade no campo da construção.

A criação de um modelo de maturidade BIM-sustentabilidade verdadeiramente integral torna-se assim um imperativo para impulsionar a urgente mudança da indústria da construção em direção à sustentabilidade e abrir caminho para a resiliência.

2.3

Modelos de apoio à decisão em Modelos de Maturidade para BIM

O Apoio Multicritério à Decisão (MCDM/A) é uma estratégia eficaz para a tomada de decisões na gestão organizacional, permitindo a subjetividade como parte do processo e estabelecendo relações de preferência entre várias alternativas (SANTOS *et al.*, 2021). Existem dois grandes grupos de métodos de AMD - os

métodos de agregação por meio de um único critério de síntese/compensatório e os métodos de sobreclassificação/não compensatórios (MOREIRA *et al.*, 2020).

O primeiro grupo, baseado na teoria da utilidade, inclui métodos como AHP (SAATY, 1977), MACBETH, MAUT (KEENEY e RAIFFA, 1993), SMART (EDWARDS e NEWMAN, 1982) e TOPSIS (YOON e HWANG, 1981). Esses métodos assumem a transitividade entre as preferências e geralmente não consideram incertezas, imprecisões e ambiguidades nos dados.

O segundo grupo é caracterizado pelas relações de superação entre as alternativas, apresentando relações de não transitividade nas preferências. Entre os métodos mais destacados desse grupo estão o ELECTRE (ROY, 1968) e o PROMETHEE (MARESCHAL *et al.*, 1984). A família de métodos ELECTRE abrange diversas técnicas projetadas para abordar os três problemas principais definidos anteriormente. No contexto do problema de classificação, objeto de estudo neste trabalho, foram aplicados os seguintes métodos - ELECTRE TRI-B (originalmente conhecido simplesmente como ELECTRE TRI, lido como 'ELECTRE tree'), ELECTRE TRI-nB, ELECTRE TRI-C, ELECTRE TRI-rC e ELECTRE TRI-nC. A seguir, apresenta-se detalhadamente o método ELECTRE TRI-nC na próxima seção.

Para ambos os grupos, é vital compreender a natureza de cada critério avaliado, seja ele quantitativo ou qualitativo, e a forma de medir as alternativas em um critério específico. Os tomadores de decisões geralmente estruturam os critérios de forma hierárquica, e abordagens probabilísticas e de lógica difusa são utilizadas para lidar com a incerteza associada aos valores de cada alternativa em um critério específico (BROEKHUIZEN *et al.*, 2015). Essas são algumas das características do método de apoio à decisão com múltiplos critérios (MCDM/A), que é uma abordagem amplamente utilizada e bem-sucedida para a tomada de decisões (TAN *et al.*, 2021). Essa abordagem é caracterizado pela integração de métodos qualitativos e quantitativos, possibilitando a consideração simultânea e clara de inúmeros fatores opostos (MORENTE-MOLINERA *et al.*, 2020). Neste contexto, surge a necessidade de analisar como os Modelos de Apoio à Decisão podem ser aplicados aos MMBs, que são ferramentas que avaliam o nível de maturidade de uma organização em relação ao uso do BIM.

Com o intuito de mapear o cenário atual de pesquisa em relação aos Modelos de Apoio à Decisão em MMBs, realizou-se uma revisão de escopo seguindo as diretrizes de ARKSEY e O'MALLEY (2005), adotando o esquema de comunicação PRISMA-ScR (TRICCO *et al.*, 2018). Uma revisão de escopo permite obter uma visão geral do estado da literatura sobre um tema de pesquisa. Essa revisão é especialmente útil para explorar uma área temática ampla e pouco delimitada, e extrair necessidades de investigação futura (TRICCO *et al.*, 2016). Nessa abordagem, ARKSEY e O'MALLEY (2005) destacam cinco passos cruciais para a condução de uma revisão de escopo - formular a pergunta de pesquisa, identificar estudos pertinentes, selecionar os estudos, preparar os dados e comunicar os resultados. Com base nesses passos, delineia-se a abordagem metodológica, composta por quatro etapas, conforme ilustrado no PRISMA - Identificação, Triagem, Elegibilidade, Inclusão, como evidenciado na Figura 10.

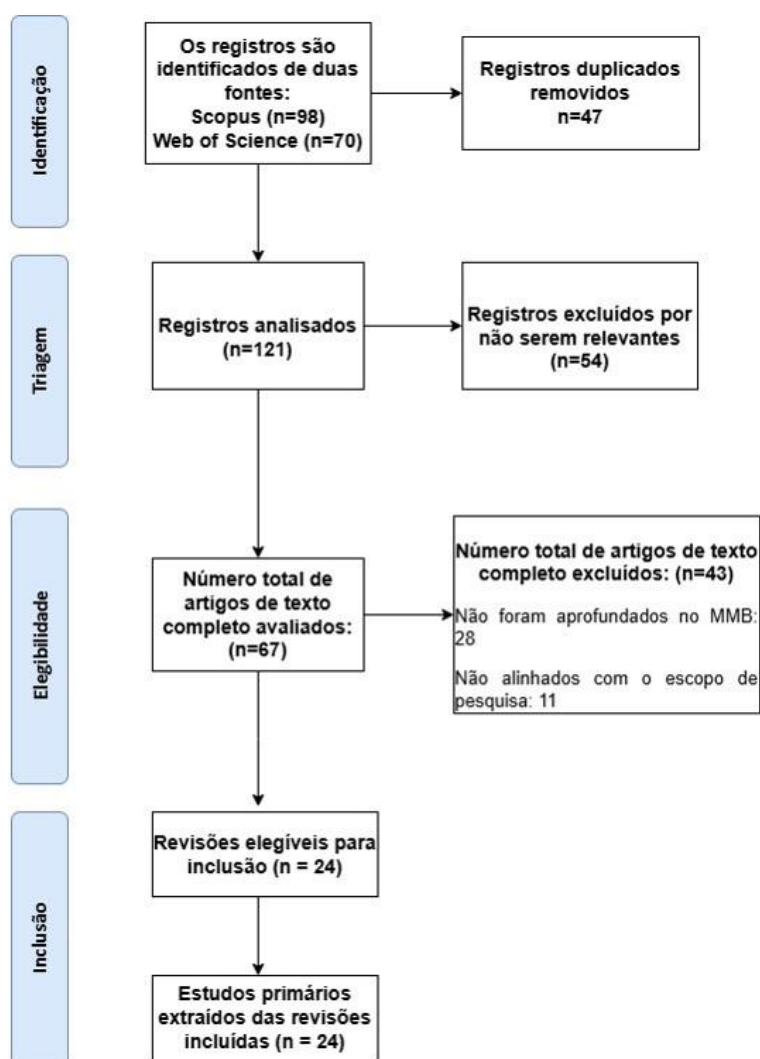


Figura 10 – Revisão de Escopo-PRISMA. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

2.3.1. Definição da questão de pesquisa

A identificação da pergunta de pesquisa foi orientada pelo objetivo do estudo. Primordialmente, o objetivo da revisão de escopo é fornecer uma visão geral do estado da literatura de pesquisa sobre os Métodos de Apoio à Decisão em MMB. Em particular, busca-se esclarecer a compreensão dos autores sobre a maturidade do BIM, levando em consideração os Modelos de Apoio à Decisão.

Com base nisso, busca-se responder à QP3 - Que modelos de apoio à decisão podem ser utilizados para avaliar a maturidade de BIM? Enquanto essa questão é explorada, analisa-se secundariamente os resultados mensurados relacionados aos MMB. Procura-se identificar: Como os estudos que empregam métodos de MCDM em Modelos de Maturidade são abordados na literatura? Quais são os principais métodos de MCDM identificados e como são aplicados em Modelos de Maturidade? Contribuindo assim para uma compreensão mais profunda e informada sobre a temática em questão.

2.3.2. Identificação de estudos relevantes

Depois de formular a pergunta de pesquisa, iniciou-se a busca de estudos que auxiliassem a respondê-la. Como sugerem ARKSEY e O'MALLEY (2005), é muito importante encontrar estudos preliminares (inclusive aqueles que ainda não foram publicados) relacionados à área de pesquisa. Para realizar essa tarefa, optamos por utilizar diferentes estratégias de busca. Assim, realizamos uma revisão bibliográfica abrangendo o período de janeiro de 2011 a dezembro de 2023. Para coletar os dados, utilizamos as bases de dados Scopus e Web Of Science, os quais foram analisados por meio das funcionalidades do programa Rstudio (KRONTHALER e ZÖLLNER, 2021).

Inicialmente, foram conduzidas pesquisas nas bases de dados eletrônicas Scopus e Web of Science (WoS), configuradas para busca por título, resumo e palavras-chave, que abrangem uma significativa proporção de todos os estudos publicados internacionalmente. Utilizando a ferramenta RStudio junto com o APP bibliometrix (ARIA e CUCCURULLO, 2017), apresenta-se um resumo dos trabalhos de maior impacto, eliminando os artigos duplicados em ambas as bases de dados analisadas. Ao definir os termos de busca, nos deparamos com o desafio da variada terminologia utilizada internacionalmente para descrever os Modelos de Apoio à Decisão em Modelos de Maturidade para BIM, com o objetivo de incluir também

termos relacionados a I4.0 e sustentabilidade, os quais serão analisados um pouco mais adiante na pesquisa.

Realizou-se uma busca inicial no Scopus e na Web of Science para identificar artigos relacionados ao tema. As palavras dos títulos e resumos dos artigos relevantes, juntamente com os termos de índice usados para descrevê-los, foram empregados no desenvolvimento de um método amplo de pesquisa em ambas as bases de dados. Da mesma forma, recebemos orientação por meio da área temática de Modelos de Apoio à Decisão em MMB, a qual já foi amplamente investigada. Como resultado, utilizou-se os seguintes termos de busca booleanos para nossa revisão bibliográfica utilizando Scopus e Web of Science - TITLE-ABS-KEY(("multiple criteria" OR multicriteria OR "multi criteria" OR MCDM OR MCDA) AND ("maturity model" OR "readiness model") AND (Industry 4.0 OR sustainability OR BIM)) e TS=("multiple criteria" OR multicriteria OR "multi criteria" OR MCDM OR MCDA) AND TS=("maturity model" OR "readiness model") AND TS=(Industry 4.0 OR Sustainability OR BIM)

2.3.3. Seleção dos estudos

Para a seleção da literatura, foram previamente definidos os critérios de inclusão e exclusão. Para atender à nossa pergunta de pesquisa, incluímos apenas artigos que abordavam Modelos de Apoio à Decisão em Maturidade para BIM, incorporando termos relacionados a I4.0 e sustentabilidade. Formalmente, excluímos apenas os artigos que não estavam disponíveis em inglês, assim como as revisões. Não foi imposta nenhuma restrição quanto ao tipo de organização em que os modelos de maturidade eram aplicados. A Tabela 13 oferece uma visão geral dos critérios de inclusão e exclusão, conforme descrito por (SCHERY *et al.*, 2023).

Tabela 13 – Critérios de inclusão e exclusão	
Critério de exclusão de artigos	• Ausência de resumo • Artigos que não abordam diretamente o tema de pesquisa ou não contribuem para responder às perguntas de investigação • Artigos não escritos em inglês • Artigos inválidos ou de baixa qualidade metodológica
Critério de inclusão de artigos	• Artigos escritos em inglês • Artigos com resumo disponível • Estudos publicados nos últimos 10 anos (de 2014 a 2024) • Artigos de pesquisa original (excluindo revisões de literatura, editoriais, cartas, etc.)

Fonte - Elaborado pelo autor.

Os artigos foram inicialmente examinados de forma independente com base em seus títulos e resumos, seguindo critérios de inclusão e exclusão. Em seguida, foi realizada a revisão dos textos completos. O processo de seleção dos estudos está representado em um diagrama de fluxo PRISMA (Figura 11). Dos 168 documentos recuperados, apenas 24 abordaram os MMB, níveis de interoperabilidade e dimensões que se ajustam à indústria 4.0, além de tratar de aspectos de sustentabilidade. Realizamos uma Revisão de Escopo nas bases de dados Scopus e Web of Science com o objetivo de identificar estudos pertinentes relacionados a modelos de maturidade BIM, transformação digital e sustentabilidade. Inicialmente, identificamos um total de 168 registros relevantes. Em seguida, procedeu-se à eliminação de 54 registros duplicados, resultando em 121 registros únicos para análise. Após uma cuidadosa avaliação de títulos e resumos, excluímos 54 registros que não se alinhavam ao tema de interesse, culminando em 67 registros elegíveis para a próxima fase.

A leitura integral dos 67 estudos elegíveis revelou que 43 deles não atendiam aos critérios de inclusão, careciam de métodos claros ou não permitiam a extração de dados, resultando na exclusão desses estudos. Assim, restaram 24 estudos para a etapa subsequente de extração e síntese de resultados. A partir desses 24 estudos incluídos, conduzimos a extração de dados relevantes, abrangendo o desenho do estudo, características da amostra, variáveis e métodos de análise utilizados. Por fim, foram sintetizados os resultados desses estudos para identificar similaridades, divergências e lacunas no conhecimento atual sobre o tema em questão.

2.3.4. Preparação dos dados

Seguindo as diretrizes propostas por ARKSEY e O'MALLEY (2005), procedemos a analisar as informações mais relevantes dos artigos identificados. Esse processo incluiu a identificação dos principais métodos de MCDM utilizados. Além disso, realizamos uma análise detalhada dos diversos contextos e aplicações dos Modelos de Maturidade. Também nos dedicamos a examinar as vantagens e limitações inerentes a esses métodos com o objetivo de fornecer uma visão abrangente que apoie a tomada de decisões no âmbito dos Modelos de Maturidade.

2.3.5. Notificação dos resultados

Foi realizado uma análise do conteúdo descrito nas Seção 2.2.3 e Seção 2.2.4 utilizando uma combinação de relatórios numéricos e temáticos. Nesse contexto, os resultados foram apresentados de forma concisa e visual por meio de tabelas resumidas.

Depois de obter os artigos, foi realizado uma análise abrangente do conteúdo de cada um, conforme detalhado a seguir. A Tabela 14 fornecida oferece uma visão abrangente dos estudos que utilizam métodos de Tomada de Decisão Multicritério na gestão da mobilidade, com foco especial na Indústria 4.0 e sustentabilidade. Ao examinar os dados apresentados na tabela, foram identificadas certas lacunas e destacadas oportunidades-chave para futuras pesquisas.

Tabela 14 – Análise de Métodos de Tomada de Decisão Multi-Critério em Diferentes Setores - Abordagens em Indústria 4.0 e Sustentabilidade

Autores	Métodos	Setor de aplicação	Indústria 4.0	Sustentabilidade	Classificação do método	Consideração de incerteza com fuzzy
Yoshiura et al. (2023)	ELECTRE TRI	Indústria da Construção	x		Grau de dominância ou prevalência	
Peña et al. (2019)	Fuzzy ELECTRE	Setor de saúde	x		Grau de dominância ou prevalência	x
Cafasso et al. (2020)	AHP	Indústria	x		Métodos de comparação pareada	
Bhatia e Diaz-Elsayed (2023)	Fuzzy TOPSIS	Fabricação inteligente	x		Métodos baseados em distância	x
Tan et al. (2021)	AHP-TOPSIS	Construção		x	Métodos de comparação pareada + Métodos baseados em distância	
Caterino et al. (2021)	TOPSIS	Fabricação		x	Métodos baseados em distância	
Lozano et al. (2023)	AHP	Projetos de pontes		x	Métodos de comparação pareada	
Bapat et al. (2023)	FAHP-FANP, FTOPSIS-F VIKOR	Infraestrutura de transporte	x		Métodos de comparação pareada+ Métodos baseados em distância	x
Cavalcante de Souza Feitosa et al. (2021)	FTOPSIS	Gestão de riscos da cadeia de suprimentos	x		Métodos baseados em distância	x
Yu et al. (2018)	FPLM-AHP–VIKOR	Indústria 4.0	x		Métodos de comparação pareada +Métodos baseados em distância	x
Chen et al. (2022)	Variáveis linguísticas e integral fuzzy	Capacidade digital	x		Métodos de Classificação	x
Topuz et al. (2022)	DEMATEL	Setor de saúde	x		Métodos de ranking	

Chen e pan (2015)	PROMETHEE Fuzzy	Construção		x	Métodos de ranking	x
Haruna et al. (2021)	ANP	Construção		x	Métodos de comparação pareada	
Büyüközkan et al. (2020)	SAW-HFLTS	Cadeia de suprimentos, Construção	x		Métodos de Classificação	x
Varol et al. (2023)	HFAHP	Empresa de logística	x		Métodos de comparação pareada	x
Linhart et al. (2017)	AHP	Construção	x		Métodos de comparação pareada	
Kumar et al. (2023)	FTOPSIS	Desenvolvimento de software	x		Métodos baseados em distância	x
Zigmund et al. (2023)	WASPAS	Construção		x	Otimização da média	
Tan et al. (2021)	AHP -TOPSIS	Fabricação e montagem		x	Métodos de comparação pareada + Métodos baseados em distância	
Abbasianjahromi et al. (2019)	ELECTRE I	Consultoria de construção	x		Grau de dominância ou prevalência	
Chen et al. (2024)	EW-TOPSIS	Construção	x		Ponderação de entropia + Métodos baseados em distância	
Movaffaghi e yitmen (2023)	AHP	Indústria da construção		x	Métodos de comparação pareada	
Dang et al. (2020)	Entropia- FAHP- Integral fuzzy	Pré-fabricação de construção	x		Ponderação de entropia+ Métodos de comparação pareada	x

Fonte - Elaborado pelo autor.

A revisão dos estudos compilados na Tabela 14 destaca uma clara disparidade na atenção dada às aplicações de MCDM no contexto da Indústria 4.0 (I4.0) em comparação com a sustentabilidade. Dos 24 estudos analisados, a maioria (16) concentra-se em I4.0, enquanto apenas 8 abordam questões de sustentabilidade. Isso revela uma lacuna significativa, com 66% dos estudos centrados em I4.0 e apenas 34% em sustentabilidade.

Alguns estudos, como os de YOSHIURA *et al.* (2023) e PEÑA *et al.* (2019), empregam métodos que se concentram na dominância ou prevalência, enquanto outros, como os de CAFASSO *et al.* (2020) e LOZANO *et al.* (2023), optam por métodos de comparação par-a-par. Há também aqueles, como BHATIA e DIAZ-ELSAYED (2023) e CATERINO *et al.* (2021), que recorrem a métodos baseados em distância.

Além disso, existem métodos para ordenar ou classificar opções com base em seu desempenho nos critérios, como os utilizados por CHEN *et al.* (2022) e TOPUZ *et al.* (2022). ZIGMUND *et al.* (2023) escolheram um método que busca a opção que otimiza a média dos critérios. Por outro lado, CHEN *et al.* (2024) e DANG *et al.* (2020) aplicam métodos de ponderação de entropia, que atribuem pesos aos critérios com base em sua entropia, uma medida de sua incerteza ou variabilidade. É crucial observar que alguns estudos combinam vários métodos para aproveitar suas vantagens e mitigar suas limitações. Por exemplo, TAN *et al.* (2021) e BAPAT *et al.* (2023) combinam métodos de comparação pareada e métodos baseados em distância. CHEN e PAN (2015) e BÜYÜKÖZKAN *et al.* (2020) misturam métodos de classificação com métodos difusos para lidar com a incerteza. Esses enfoques combinados ilustram a flexibilidade e adaptabilidade dos MCDM na resolução de problemas complexos de tomada de decisão.

Portanto, há uma oportunidade chave para desenvolver mais pesquisas aplicando MCDM/A com foco em sustentabilidade em setores como manufatura, logística e construção. Essa abordagem pode ajudar a equilibrar a disparidade atual na atenção dada aos diferentes aspectos da tomada de decisão, promovendo soluções mais equilibradas e sustentáveis em diversos domínios industriais.

Em relação ao conteúdo específico dos trabalhos em I4.0, observa-se o uso de diversos métodos, tais como AHP (em 10 estudos), TOPSIS (em 8 estudos), ELECTRE (em 3 estudos), VIKOR (em 2 estudos), entre outros, em áreas como manufatura inteligente, desenvolvimento de software, capacidade digital,

montagem industrial etc. Há oportunidade para mais aplicações híbridas combinando, por exemplo, lógica fuzzy com métodos compensatórios ou para incorporar técnicas de Inteligência Artificial.

Sobre os estudos com foco em sustentabilidade, apesar de ter menos quantidade (6 estudos), mostram variantes interessantes ao aplicar MCDM na avaliação de projetos de construção e pontes, considerando especificamente critérios ambientais e sociais. Há potencial para expandir essa abordagem para outras áreas, bem como para desenvolver modelos híbridos como alguns trabalhos.

De modo geral, observa-se a utilidade de métodos MCDM para apoiar processos organizacionais chave como planejamento, gestão de projetos, tomada de decisões sobre compras e aquisições. Essa é uma orientação a se aprofundar na pesquisa, para melhorar processos nucleares na Indústria 4.0 e em sustentabilidade.

Identifica-se também a necessidade de um novo modelo MCDM combinando BIM, I4.0 e sustentabilidade, sob o paradigma da I5.0, dado que nenhum dos estudos analisados aborda integralmente essas três dimensões, que serão chave para uma construção verdadeiramente inteligente e sustentável.

3

Metodologia da Pesquisa

Este capítulo descreve a metodologia da pesquisa, que usa uma abordagem multimétodo, combinando métodos quantitativos e qualitativos para compreender completamente o problema. Seguindo os princípios da abordagem Design Science, o objetivo é projetar um artefato que atenda às necessidades identificadas. Os dados foram coletados por questionários, entrevistas e grupos focais para obter respostas estruturadas e informações qualitativas detalhadas. A análise dos dados envolveu tanto métodos quantitativos quanto qualitativos.

3.1

Abordagem Multimétodo

Este estudo emprega uma abordagem multimetodo, de acordo com a metodologia proposta por CRESWELL e POOTH (2016). O processo inclui uma revisão do escopo (etapa 1), análise de conteúdo (etapa 2) e a melhoria e validação do modelo proposto (etapa 3). A última etapa se baseia em entrevistas individuais com profissionais, juntamente com a aplicação de um painel de especialistas e um grupo focal para validar projetos na indústria da construção. Além disso, implementa-se o modelo de BIM para a I4.0 e sustentabilidade, conforme mostrado na Figura 11 (etapas da metodologia).

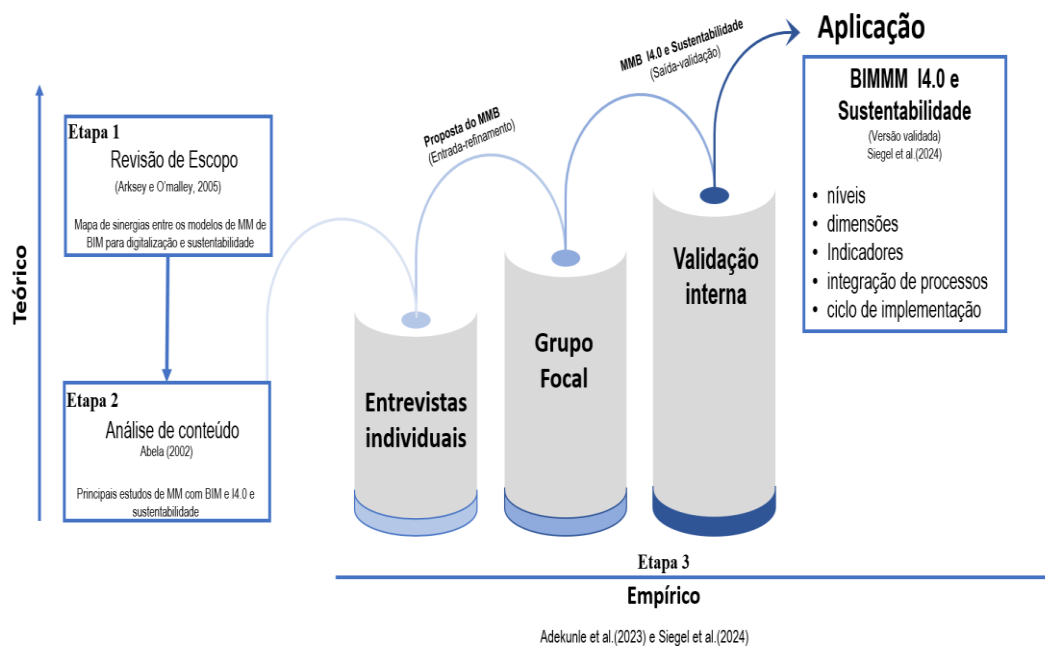


Figura 11 – Etapas da metodologia. **Fonte** - Elaborado pelo autor.

Para aprimorar a compreensão e obter respostas mais precisas para perguntas de pesquisa específicas, adotou-se uma abordagem multimétodo. Este enfoque é respaldado pela integração de métodos diversos e complementares de maneiras únicas (SAUNDERS *et al.*, 2023). Além disso, a estratégia de aplicar um enfoque multimétodo aos modelos de maturidade BIM nos oferece uma estrutura abrangente para enfrentar os desafios relacionados à digitalização e sustentabilidade.

O primeiro passo consistiu em elaborar um mapa de sinergias entre os MMB para a digitalização e a sustentabilidade, através de uma revisão do escopo baseada em ARKSEY e O'MALLEY(2005). Seguindo as diretrizes de CRESWELL e POTH (2016) para pesquisa qualitativa, utilizamos múltiplas fontes de dados e evidências, e realizamos uma sondagem preliminar dos principais elementos de sinergia da I4.0 e sustentabilidade.

Na etapa 2, foi realizado uma análise de conteúdo dos modelos de maturidade de BIM para a digitalização e sustentabilidade encontrados. Essa análise consistiu em identificar e comparar os critérios, dimensões, indicadores, escalas e métodos que esses modelos utilizam para medir e aprimorar o nível de maturidade de BIM nesses dois aspectos. Dessa forma, pudemos identificar as forças e fraquezas dos modelos existentes e propor novos modelos que se adequem às necessidades e objetivos dos projetos na indústria da construção.

A 3 etapa da proposta consiste em propor e validar um modelo de maturidade BIM para a digitalização e sustentabilidade. Em relação ao desenvolvimento e validação do modelo iterativo MMB (conforme mostrado na etapa 3 da Figura 13), enfatizamos os trabalhos de ADEKUNLE *et al.* (2023) e SIEGEL *et al.* (2024), integrando-os nessa etapa.

A proposta é desenvolver um modelo de maturidade BIM sistêmico que combina aspectos da Indústria 4.0 e sustentabilidade, utilizando modelos de apoio à decisão para avaliar e guiar a evolução da maturidade no setor público. A partir dessa ideia, é projetada uma versão inicial do modelo. Posteriormente, entramos em um ciclo de refinamento e validação de nossa proposta inicial, seguindo o método descrito por SIEGEL *et al.* (2024).

Finalmente, planeja-se validar o modelo proposto através de múltiplos estudos de caso no setor público da construção civil. A aplicação será realizada em diferentes organizações governamentais, abrangendo projetos de variadas escalas e complexidades, para avaliar a eficácia e adaptabilidade do modelo em diversos

contextos. Esta validação incluirá análise comparativa entre os casos, considerando diferentes níveis de maturidade BIM, capacidades tecnológicas e requisitos de sustentabilidade existentes.

O estudo baseia-se em dados secundários (literatura) na primeira e segunda etapa. A terceira etapa consiste em dados primários empíricos obtidos por métodos qualitativos (entrevistas pessoais, casos ilustrativos com um grupo de especialistas e aplicação/verificação do modelo em projetos na indústria da construção).

Na pesquisa, é crucial compreender a literatura existente. De acordo com ARKSEY e O'MALLEY (2005), a revisão de escopo é essencial para "mapear" a literatura relevante e identificar a natureza e a extensão de pesquisas anteriores. Neste contexto, e seguindo ARKSEY e O'MALLEY (2005), utilizou-se uma revisão de escopo para identificar elementos de sinergia ou vínculos de integração entre MMB para a digitalização e a sustentabilidade na literatura. Além disso, a análise de conteúdo é respaldada por uma revisão de escopo baseada em evidências, para identificar os principais MMB para a digitalização e a sustentabilidade.

Na terceira etapa, são conduzidas entrevistas individuais, seguindo a metodologia proposta por CRESWELL e POTH (2016), com o objetivo de identificar empiricamente elementos adicionais de sinergia durante a fase inicial de aprimoramento da proposta do modelo. Além disso, é implementado um painel de especialistas na fase de aprimoramento do modelo, com o objetivo de refinar e consolidar o processo previamente estabelecido. Será utilizado um painel de especialistas na segunda fase do aprimoramento do modelo, composto por profissionais experientes em BIM, digitalização e sustentabilidade. Essa abordagem visa filtrar e consolidar o processo inicial. Segundo BABBIE (2020), esse painel oferece informações valiosas sobre os modelos de maturidade de BIM que desenvolvemos, garantindo sua fundamentação na prática e teoria atuais.

Simultaneamente, adotou-se um grupo focal, método útil para obter diversas perspectivas no setor da construção (MORGAN, 1996). Este grupo, representando diferentes visões, discutirá e comentará sobre os modelos de maturidade de BIM, enriquecendo nossa compreensão sobre sua aplicabilidade em vários contextos. Assim, a combinação do painel de especialistas e do grupo focal assegurará uma avaliação abrangente de nossos modelos de maturidade de BIM, mantendo sua relevância tanto de uma perspectiva especializada quanto ampla no setor (STEWART e SHAMDASANI, 2014). Em última instância, será realizada a

implementação do modelo em oito projetos de construção do setor público, abrangendo diferentes tipologias e escalas. Este processo sistemático inclui as fases de construção, refinamento, validação e aplicação do modelo, permitindo uma avaliação abrangente de sua eficácia em diversos contextos construtivos.

3.2

Etapas da pesquisa e abordagem de Design Science

O objetivo da Design Science Research (DSR) é projetar um artefato, abrangendo tanto a definição de sua funcionalidade desejada quanto sua arquitetura. A DSR oferece um conjunto de técnicas analíticas que possibilitam o desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas, incluindo a engenharia (KUECHLER; VAISHNAVI, 2011). Recursos necessários para passar dos objetivos ao design e desenvolvimento do artefato incluem o conhecimento da teoria que pode ser utilizada em uma solução (PEFFERS *et al.*, 2007).

A adoção da DSR para conduzir este trabalho é justificada por razões fundamentais. Primeiramente, ela proporciona um respaldo metodológico robusto para pesquisas que envolvem o desenvolvimento de artefatos e sua aplicação em contextos organizacionais (LACERDA *et al.*, 2013). Essa metodologia apresenta características que se alinham diretamente com os objetivos desta pesquisa, como -

- A transformação de sistemas organizacionais existentes para alcançar resultados superiores, aspecto crucial no contexto da maturidade BIM;
- A abordagem de questões organizacionais e sistemas como objetos artificiais de alta complexidade, exigindo intervenções não rotineiras;
- O foco no desenvolvimento teórico e na validação de proposições de design em cenários organizacionais complexos;
- A flexibilidade para explorar múltiplas alternativas contextualizadas em diferentes ambientes reais;
- Uma visão pragmática do conhecimento, orientada à ação.

A natureza prescritiva do DSR, que propõe ações específicas para gerar efeitos em circunstâncias determinadas (VAISHNAVI *et al.*, 2015), está perfeitamente alinhada com o problema e os objetivos de pesquisa deste estudo sobre maturidade

BIM. Além disso, o método é particularmente adequado para tratar situações mal definidas, características comuns em avaliações de maturidade organizacional que envolvem múltiplos critérios e julgamentos subjetivos.

Os artefatos desenvolvidos nesse contexto seguem um processo iterativo composto por seis etapas - identificação e motivação do problema, definição de objetivos, design e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação (VOM BROCKE *et al.*, 2020). Conforme CHAKRABARTI (2010), o que diferencia a pesquisa tradicional do método DSR é o foco deste último em projetar soluções práticas, enquanto a pesquisa tradicional se dedica principalmente a compreender fenômenos, sejam eles humanos, naturais ou sistêmicos. Enquanto o enfoque do DSR é melhorar estes sistemas. SUCCAR e KASSEM (2015) empregaram uma metodologia semelhante para desenvolver modelos conceituais voltados para a adoção do macro-BIM, embora não tenham feito referência explícita à DSR. O estudo segue a abordagem da pesquisa em DSR, conforme proposto por VOM BROCKE *et al.* (2020), em combinação com a abordagem para desenvolver um modelo de maturidade conforme proposto por STEFESS (2023) como mostra a Figura 12.

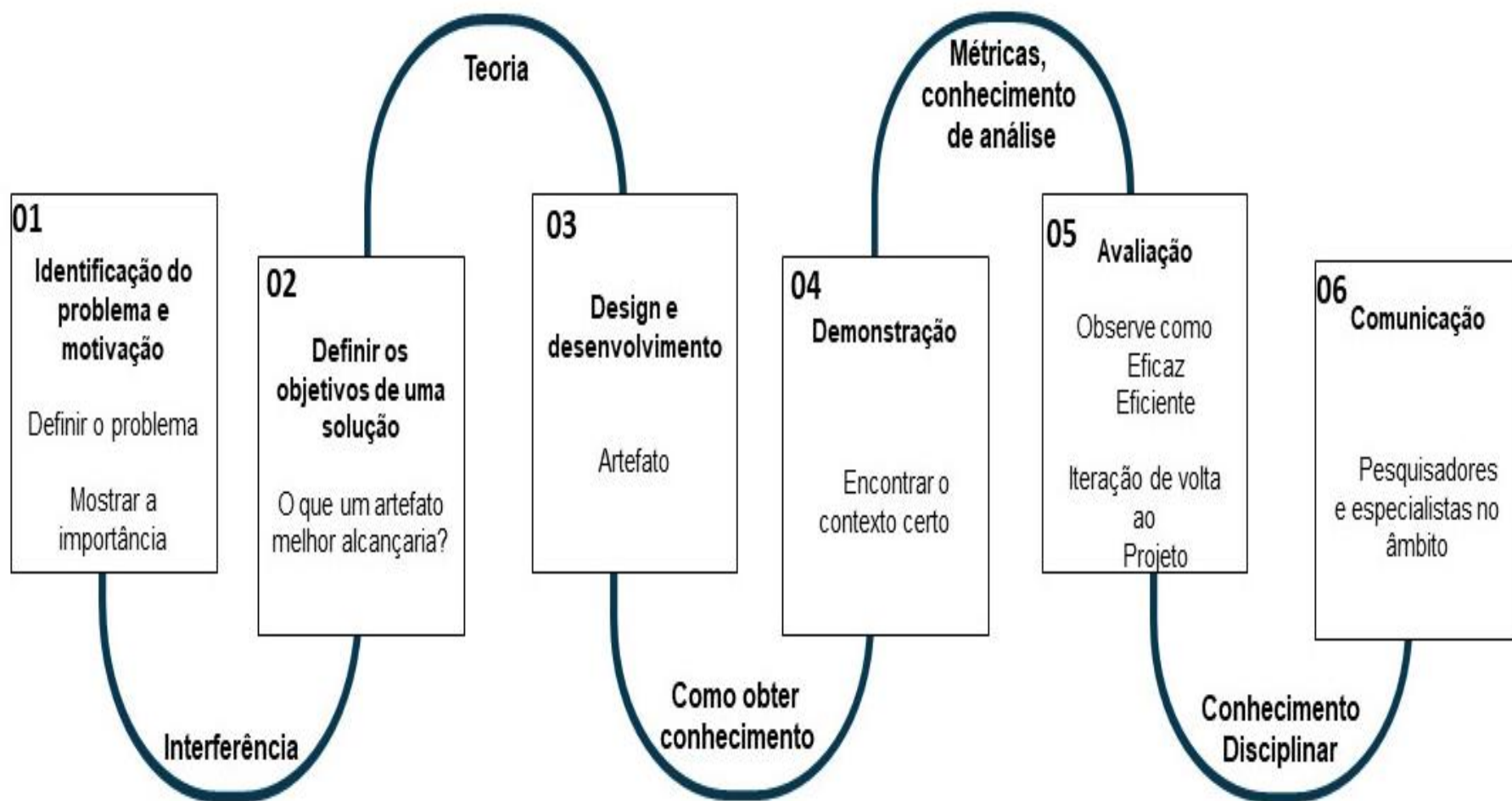


Figura 12 – Abordagem de pesquisa na ciência do design adaptada de VOM BROCKE et al. (2020). **Fonte** - Elaborado pelo autor.

O modelo de pesquisa em ciência de design (DSRM) é mostrado na Figura 13. A seguir, é fornecida uma breve descrição de cada etapa DSR, conforme a Tabela 15.

Tabela 15 – Processo DSR para desenvolver o modelo de maturidade BIM proposto, conforme os objetivos específicos

Processo de DSR	Descrição de cada etapa	Etapas para desenvolver o modelo de maturidade BIM
Etapa1. Identificação e motivação do problema	Esta etapa define o problema de pesquisa específico e justifica o valor de uma solução. Justificar o valor motiva o pesquisador e a audiência a buscar a solução, e ajuda a audiência a apreciar a compreensão do problema. Recursos necessários incluem conhecimento do estado do problema e da importância de sua solução.	Devido às lacunas ainda presentes na literatura sobre como abordar a escolha de modelos de maturidade BIM para a digitalização e sustentabilidade, a avaliação da maturidade e o desenvolvimento de uma proposta prescritiva, de maneira integrada, para a aplicação do MMB
Etapa 2. Definir os objetivos para uma solução	Os objetivos de uma solução inferem-se da definição do problema e do conhecimento do possível e viável. Podem ser quantitativos, como termos nos quais uma solução seria melhor que as atuais, ou qualitativos, como descrição de como um novo artefato apoiaria soluções para problemas não abordados. Os objetivos devem inferir-se racionalmente da especificação do problema.	O objetivo do modelo proposto pode ser resumido como estabelecer procedimentos para a aplicação de modelos de avaliação de maturidade em qualquer domínio e segmento de análise.
Etapa 3. Design e desenvolvimento	Cria-se um artefato no qual uma contribuição de pesquisa está incorporada no design. Isto inclui determinar a funcionalidade desejada e arquitetura do artefato, e depois criar o artefato.	Desenvolvimento/Identificação de métodos e procedimentos que auxiliem na escolha de um modelo de apoio à decisão para mensurar a maturidade em BIM, bem como no processo de avaliação da maturidade e na elaboração de um plano prescritivo de aprimoramento, visando avançar na maturidade e orientar obras públicas para melhorias em qualquer domínio de avaliação.
Etapa 4. Demonstração	Demonstra-se o uso do artefato para resolver instâncias do problema, por meio de experimentação, simulação, estudo de caso, prova ou outra atividade apropriada.	Demonstrar a aplicação prática da nova estrutura. Neste estudo, o MMB foi implementado em obras públicas.
Etapa 5. Avaliação	A avaliação mede o quanto o artefato apoia uma solução para o problema. Envolve comparar objetivos da solução com resultados observados do uso do artefato. Pode assumir várias formas dependendo da natureza do problema e artefato. Ao final, decide-se se deve interagir para melhorar a eficácia do artefato ou comunicar e deixar melhorias para projetos subsequentes.	Realizada por meio da comparação e análise dos resultados obtidos após a aplicação, considerando as condições de maturidade em obras públicas no domínio avaliado.
Etapa 6. Comunicação	Comunicam-se todos os aspectos do problema e do artefato projetado aos stakeholders relevantes, empregando formas apropriadas de comunicação dependendo dos objetivos e do público, como profissionais da área.	Para pesquisadores e especialistas no âmbito da estrutura e domínio de interesse, é crucial documentar e publicar os resultados.

Fonte - Elaborado pelo autor.

Uma dessas etapas é o propósito de criar um artefato, o que implica definir as funções esperadas e a estrutura desejada. Para transformar os objetivos em um design bem-sucedido, são essenciais elementos como a compreensão da teoria aplicável para encontrar uma solução (VOM BROCKE *et al.*, 2020). A etapa 2, relacionada ao Desenvolvimento do Projeto, é apresentada com a base teórica e revisão da literatura de MMBs, examinadas à luz das perspectivas da Indústria 4.0 e sustentabilidade, alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Essa análise é desenvolvida no capítulo 2, que se concentra na Fundamentação Teórica.

Na evolução da etapa 2, conforme destacado na introdução da pesquisa, argumenta-se que para avaliar o nível de maturidade BIM em obra pública, é fundamental abordar três fases essenciais - a escolha do Modelo de Maturidade BIM focado na digitalização e sustentabilidade, a avaliação do grau de maturidade e a prescrição correspondente.

A tarefa de escolher um Modelo de Maturidade BIM tem como objetivo identificar uma opção alinhada com os objetivos específicos da obra pública. Essa escolha pode ser desafiadora devido à diversidade de Modelos de Maturidade disponíveis para um mesmo domínio. A avaliação do Modelo de Maturidade BIM deve ser realizada por meio de um algoritmo detalhado em um modelo de avaliação, aspecto que não costuma ser destacado com frequência na literatura especializada. Um modelo de avaliação bem definido facilita a aplicação dessa metodologia e permite uma abordagem comparativa.

Além disso, a principal vantagem da abordagem prescritiva no uso desses modelos reside na possibilidade de apoiar melhorias a partir de uma perspectiva evolutiva, um benefício que caracteriza essas abordagens. O Modelo de Maturidade BIM, conhecido como MMB e proposto neste estudo, apresenta um algoritmo que incorpora três estratégias distintas. Isso possibilita uma implementação abrangente do Modelo de Maturidade BIM, oferecendo um modelo robusto e eficaz para seu uso.

A Figura 13 apresenta o fluxo para construção e aplicação do MMB proposto a partir de um enfoque adaptado, consistindo em dois ciclos - o primeiro para desenvolver o modelo baseado no primeiro aspecto na Seleção do MMB, Métodos MCDM/A para facilitar escolhas complexas, Avaliação da MMB e Comparação de padrões MMB; é necessário definir qual MMB atende melhor aos objetivos dos

projetos de construção com a avaliação da maturidade BIM. Dessa forma, esse problema é abordado por meio de um modelo através da MCDM, enquadrando-se na problemática de escolha (P.α), que será discutida mais adiante.

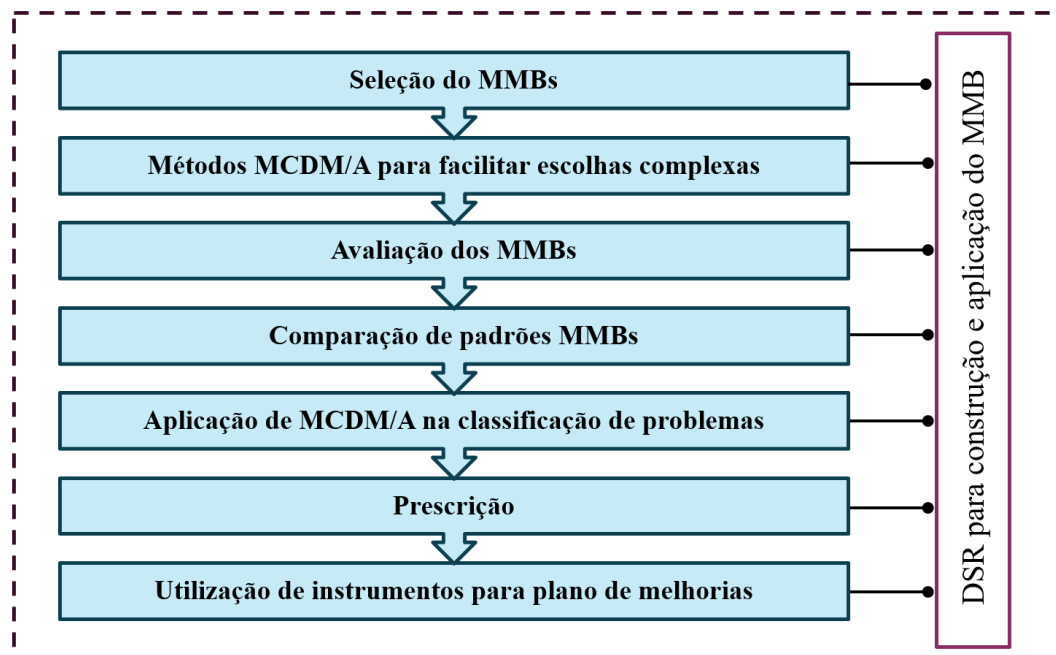


Figura 13 – Fluxo de DSR para construção e aplicação do MMB. **Fonte** - Elaborado pelo autor.

Os métodos de MCDM/A destacam-se como um enfoque poderoso com numerosas vantagens ao abordar problemas não estruturados com objetivos múltiplos e potencialmente conflitantes (LEE e EOM, 1990). Sua aplicação abrange diversos campos de engenharia e gestão, oferecendo uma ferramenta versátil para a tomada de decisões. Os métodos de MCDM/A respaldam a avaliação de alternativas, proporcionando uma estrutura sólida para a tomada de decisões dinâmicas, conforme indicado por JALILZADEHAZHARI *et al.* (2019) e destacado por um estudo recente (DE PAULA VIDAL *et al.*, 2022). Esta metodologia aplicada revela-se como uma valiosa ferramenta para selecionar critérios e estabelecer prioridades em uma variedade de problemas na construção de infraestruturas (JATO-ESPINO *et al.*, 2014).

Como vantagem, o uso de métodos MCDM para a seleção de um MMB permite robustez na forma como o problema é analisado e possibilita a abordagem a partir da perspectiva de múltiplos objetivos conflitantes que são validados e alinhados com os interesses em obras públicas.

Após a seleção do modelo de maturidade MMB para a projetos de construção, é fundamental projetar o procedimento de avaliação que permitirá medir o nível de

maturidade no âmbito específico da avaliação. O MMB apresenta um processo para construir um modelo de avaliação que segue a seguinte abordagem - compara as condições atuais nos projetos de construção analisada com as práticas do modelo de referência do MM. A partir disso, uma matriz é construída, mostrando as práticas observadas na organização e o nível de maturidade correspondente. Nessa avaliação, é essencial consultar diversos especialistas da organização para reconhecer as práticas implementadas no campo do BIM.

Para combinar o conhecimento desses especialistas sobre as práticas reconhecidas e reduzir a subjetividade, sugere-se aplicar a teoria fuzzy no tratamento de dados voltado para a tomada de decisões coletiva. A escolha desse instrumento é fundamentada em sua destacada aplicação na literatura de MM, mostrando-se, além disso, como uma ferramenta essencial para avaliar julgamentos ambíguos e imprecisos (CAIADO *et al.*, 2021).

No segundo ciclo, o foco está na Aplicação de MCDM/A no problema de classificação, na Prescrição e na utilização de instrumentos para o plano de melhorias. Um MMB propõe um modelo de avaliação que também incorpora o conhecimento de especialistas por meio da teoria fuzzy.

Além disso, para o uso de MCDM/A para o problema de classificação, o nível de maturidade é apresentado de maneira holística e dinâmica, como um processo multidimensional que envolve o crescimento em várias áreas (emocional, intelectual, física, etc.) que podem se desenvolver em diferentes ritmos e variar amplamente em função das experiências pessoais, do ambiente e de outros fatores (CABEZAS, 1988; SOARES DE *et al.*, 2020). Portanto, não há separação de práticas específicas por nível de maturidade (SUCCAR, 2016).

No modelo de avaliação proposto, recomenda-se o uso de MCDM/A para resolver problemas de classificação. Esses métodos de classificação MCDM/A permitem atribuir alternativas a classes preestabelecidas com base no desempenho dos critérios analisados. Além disso, a solidez e o detalhado axioma associados ao MCDM/A garantem que o nível médio de maturidade identificado após sua aplicação possa refletir de maneira aproximada a maturidade da situação real, facilitando assim a replicação do procedimento para sua aplicação com um foco no benchmarking.

Identificada a maturidade dos projetos de construção, torna-se imperativo delinear as medidas necessárias para elevar seu nível, abordando essa faceta que a literatura

reconhece como prescrição, um aspecto escassamente abordado nos atuais modelos MMB. Ao finalizar o ciclo, recomenda-se o uso de ferramentas para projetar um plano de melhorias. Este plano deveria identificar ações específicas que facilitem a criação de um ambiente em constante evolução, com o objetivo de alcançar níveis de maturidade mais altos. Sugere-se que o enfoque prescritivo priorize a implementação de práticas que sigam um caminho preestabelecido para a evolução do domínio avaliado. É essencial que cada obra pública desenvolva seu próprio plano, baseando-se nas ações que foram priorizadas.

Para a implementação do modelo de trabalho, é necessário identificar algumas funções durante o processo de execução. É aplicada a ideia de funções no processo de tomada de decisão proposta por SIMON (1987), em que o grupo de funções pode incluir o tomador de decisão, o consultor, o usuário e o especialista. Por outro lado, quem decide tem o poder e a responsabilidade de fazê-lo, conforme DE ALMEIDA (2013). Além disso, é crucial que o tomador de decisão expresse suas preferências em relação às possíveis soluções para o problema dentro do contexto decisório (RODRÍGUEZ *et al.*, 2016). O analista de decisões desempenha um papel essencial ao fornecer suporte metodológico ao processo decisório, colaborando com o desenvolvimento do modelo. Nos casos em que há mais de um tomador de decisão, o analista assume a função de facilitador, promovendo a interação entre os diversos participantes em reuniões estruturadas (DENNIS *et al.*, 2010).

Com o propósito de conceber um inovador MMB que amalgamasse elementos de sustentabilidade e I4.0, alinhado ao paradigma da I5.0, idealizou-se um modelo padronizado para agilizar sua aplicação em diferentes âmbitos. Evitamos detalhar características específicas de domínios particulares até que o modelo seja implementado com sucesso, assegurando assim sua universalidade. Para validar essa funcionalidade, aplicamos o modelo na indústria da construção, abrangendo setores diversos e utilizando modelos de maturidade de diferentes domínios. Isto demonstrou a eficácia do MMB para respaldar sua implementação em contextos variados, como ilustrado na Figura 14.

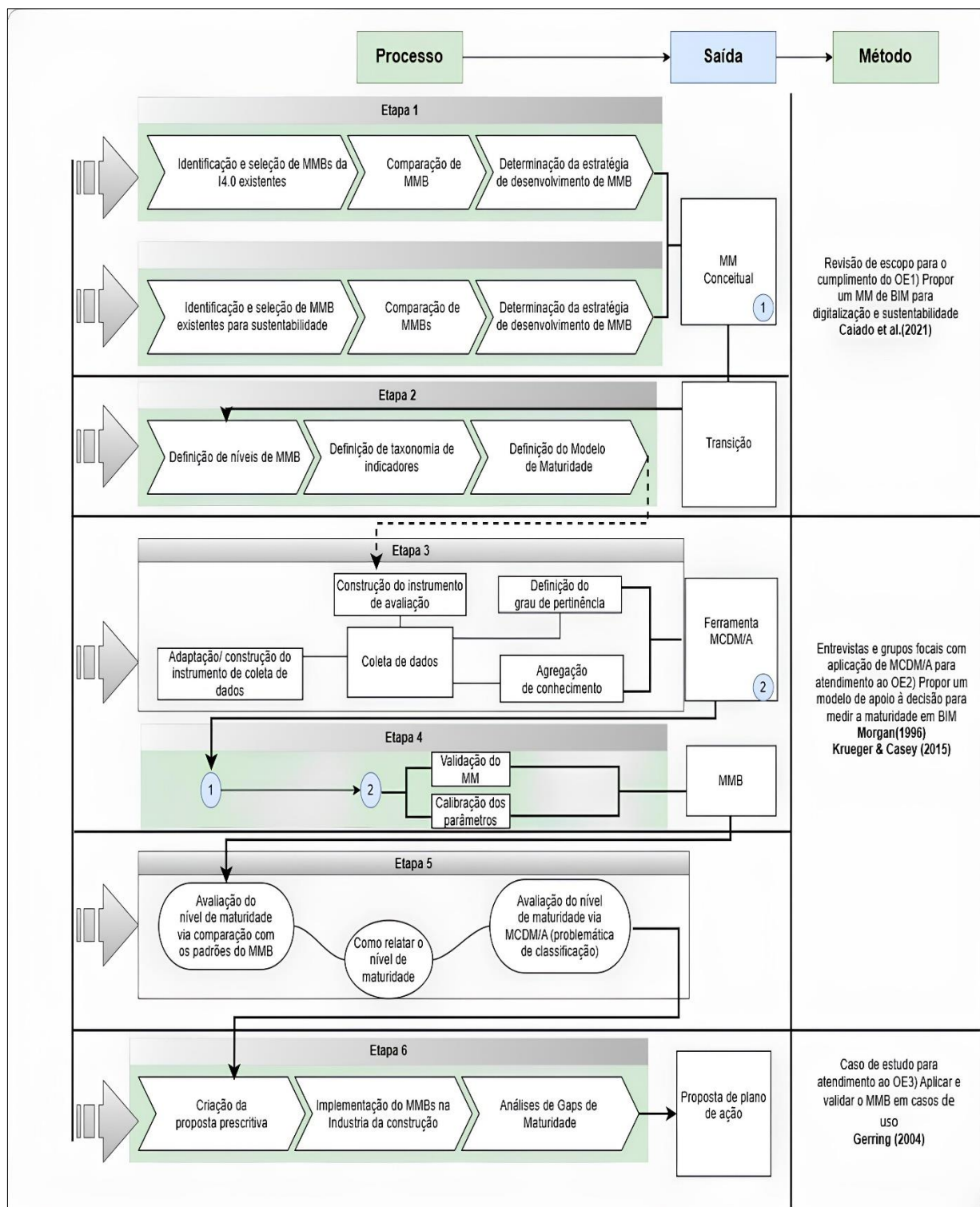


Figura 14 – MMB desenvolvido. Fonte - Elaborado pelo Autor.

3.3

Avaliações do Artefato

A avaliação é uma etapa essencial no desenvolvimento do MMB proposto. De acordo com HEVNER *et al.* (2004a), esta fase é crucial para demonstrar, de maneira rigorosa, a utilidade, qualidade e eficácia do artefato desenvolvido. Em relação à utilidade, JOHANNESSON e PERJONS (2014) destacam que sua comprovação requer verificar o grau de eficácia do artefato na solução do problema que motivou sua criação.

ALTURKI *et al.* (2011) enfatizam que o objetivo principal da avaliação não é descrever o funcionamento do artefato, mas determinar sua eficácia em alcançar seu propósito - gerar impactos reais. Assim, a avaliação visa assegurar que o artefato é adequado para resolver o problema identificado, enquanto a demonstração foca em garantir que ele foi desenvolvido corretamente.

3.3.1 Métodos de Avaliação Aplicados

HEVNER *et al.* (2004b) identificam cinco métodos principais para avaliar um artefato -

1. **Avaliação Observacional** - realizada por meio de estudos de caso ou de campo, examinando o uso do artefato em diferentes contextos organizacionais.
2. **Avaliação Analítica** - consiste na análise de qualidades estáticas e dinâmicas do artefato, estudos de adequação à arquitetura de sistemas e demonstração de propriedades de otimização.
3. **Avaliação Experimental** - envolve estudos em ambientes controlados ou simulações com dados artificiais.
4. **Avaliação na Forma de Teste** - inclui testes funcionais e estruturais das interfaces para identificar possíveis falhas.
5. **Avaliação Descritiva** - baseada na criação de cenários ou argumentos fundamentados em pesquisas de referência para validar a utilidade do artefato.

Para garantir uma avaliação abrangente do modelo de maturidade BIM proposto, esta pesquisa adota duas abordagens complementares -

1. Avaliação Experimental
 - Realizada em ambiente controlado.
 - Baseada em simulações com dados reais extraídos de projetos.

- Objetiva examinar se as recomendações de decisão podem ser aprimoradas pela aplicação do método.
2. Avaliação Analítica
- Avalia a robustez e a resiliência do artefato.
 - Implementada por meio de análise de sensibilidade.
 - Crucial para assegurar a confiabilidade na implementação.

Essa abordagem dupla permite verificar tanto a aplicabilidade prática quanto a fundamentação teórica do modelo, oferecendo uma validação mais completa e robusta do artefato desenvolvido.

3.4

Métodos de análise de dados

3.4.1 Coleta de dados e Construção do questionário

Realizou-se uma Revisão de Escopo da literatura recente sobre modelos de maturidade BIM, o que envolveu a identificação de artigos científicos que exploram a intersecção do BIM com os temas da Indústria 4.0 e da sustentabilidade. Entre os instrumentos utilizados para a coleta de dados estão bases de dados acadêmicas e mecanismos de busca científica. Empregaram-se palavras-chave e frases de busca pertinentes para localizar artigos que se enquadravam nos critérios de inclusão da pesquisa. A amostra final constituiu-se de 35 artigos selecionados a partir de critérios rigorosos. Estes artigos foram analisados em profundidade para extrair informações relevantes sobre modelos de maturidade BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade. Este processo permitiu reunir um conjunto robusto de publicações para fundamentar a investigação.

Dos 35 artigos, 24 centram-se em discussões sobre a Indústria 4.0, introduzindo conceitos como internet das coisas, big data, inteligência artificial e outras tecnologias exponenciais aplicadas ao contexto do BIM. Os 11 trabalhos restantes abordam especificamente a integração da sustentabilidade nos modelos e métricas de maturidade BIM, com foco no triple bottom line e ODS.

O processo de seleção e validação dos especialistas seguiu critérios rigorosos estabelecidos para estudos qualitativos no desenvolvimento e validação de modelos de maturidade na construção. O tamanho da amostra foi determinado pela saturação

teórica (CHEN *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2017), que ocorre quando a coleta adicional de dados não gera novos insights ou temas relacionados às questões de pesquisa. Seguindo CAIADO *et al.* (2024), a saturação teórica foi alcançada através de um processo iterativo onde os especialistas foram entrevistados individualmente até que nenhuma nova informação relevante surgisse sobre os componentes do modelo. Os critérios específicos de seleção incluíram -

Experiência Demonstrável - A equipe de especialistas possui pelo menos 15 anos de experiência no setor da construção e um mínimo de 10 anos trabalhando especificamente com BIM. Além disso, possuem publicações indexadas ou projetos relevantes nas áreas de BIM e Indústria 4.0, demonstrando seu profundo conhecimento nestas áreas. Também possuem certificações profissionais em gerenciamento de projetos ou BIM, fortalecendo ainda mais sua expertise técnica e profissional na implementação de modelos avançados dentro do setor da construção.

Diversidade Geográfica e Contextual - O painel de especialistas inclui representação de várias regiões, incluindo África, Europa e América, trazendo uma perspectiva global ao projeto. Cada especialista possui extensa experiência em uma gama de projetos e organizações, permitindo uma abordagem abrangente que engloba diversas práticas e contextos dentro do setor da construção. Adicionalmente, a equipe alcança um equilíbrio entre perspectivas acadêmicas e industriais, garantindo que o modelo desenvolvido esteja fundamentado em bases teóricas robustas, sendo também aplicável em contextos do mundo real.

Nível de conhecimento e experiência - Os especialistas ocupam cargos seniores na implementação de BIM, demonstrando seu profundo conhecimento e experiência nesta área. Muitos assumiram posições de liderança em organizações relevantes, contribuindo ativamente para o avanço do setor. Além disso, participaram do desenvolvimento de padrões ou políticas BIM, trazendo uma perspectiva estratégica que fortalece o alinhamento do modelo proposto com as melhores práticas e regulamentações atuais, conforme ilustrado na Tabela 16.

Tabela 16 – Características Profissionais dos Membros do Painel de Especialistas

ID	Cargo/ Posição	Tipo de Instituição	Região Geográfica	Formação Acadêmica	Experiência (Anos)	Áreas de Especialização
E1	Gerente de Programa BIM Sênior	Pesquisa Acadêmica	África do Sul	PhD em Gestão da Construção	20	Implementação BIM/Construção Sustentável
E2	Diretor de Construção Digital	Indústria	Marrocos	MSc em Engenharia Civil	18	Integração de Sistemas Indústria 4.0/BIM Educação
E3	Professor de Pesquisa BIM	Acadêmica	Cuba	PhD em Engenharia	15	BIM/Transformação Digital
E4	Diretor de Tecnologia da Construção	Pesquisa Industrial	Brasil	PhD em Ciência da Computação	17	Desenvolvimento BIM/Tecnologias I4.0
E5	Gerente de Programa de Sustentabilidade	Indústria	África do Sul	MSc em Construção Sustentável	16	Construção Verde/BIM Sustentável
E6	Desenvolvedor de Padrões BIM	Governo	Marrocos	MSc em Gestão de Projetos	19	Desenvolvimento de Políticas/Padrões BIM
E7	Líder de Inovação Digital	Acadêmico/ Indústria	Brasil	PhD em Engenharia Civil	16	Inovação BIM/Indústria 4.0
E8	Arquiteto de Sistemas de Construção	Instituto de Pesquisa	Brasil	PhD em Engenharia de Sistemas	18	Integração BIM/Tecnologias I4.0

Fonte - Elaborado pelo autor.

A metodologia baseou-se na análise de conteúdo das fontes bibliográficas levantadas, extraindo-se informações relevantes para avaliar modelos de maturidade BIM à luz dos critérios delineados. Esta investigação sistemática visa trazer nova luz sobre como os modelos vêm incorporando temas cruciais como digitalização avançada e sustentabilidade. Para atingir esse objetivo, foi elaborado um questionário com o propósito de avaliar a adesão de modelos teóricos de maturidade BIM a critérios associados às agendas da Indústria 4.0 e sustentabilidade, baseado na análise de conteúdo de MM e FCSs de BIM e I4.0 ou BIM e sustentabilidade para avaliar os MM encontrados na literatura.

Para viabilizar essa medição, foi desenvolvido um conjunto de 20 perguntas destinadas a serem respondidas pelos participantes da pesquisa em uma escala de 1 a 7. Cada pergunta corresponde a um critério de análise que abrange desde a aplicabilidade contextual dos modelos no âmbito da Indústria 4.0 até as tendências, desafios e impactos futuros relacionados à adoção de BIM aliado à sustentabilidade. O processo de validação incluiu a verificação cruzada, onde cada membro foi avaliado por pelo menos dois outros membros do painel, garantindo consistência e qualidade dentro do grupo (PARK *et al.*, 2017). A adequação do tamanho da

amostra foi confirmada ao atingir a saturação teórica, evidenciada pela convergência nas avaliações e ausência de novos temas emergentes significativos após a sexta entrevista, alinhando-se com os critérios estabelecidos para estudos de validação de modelos de maturidade BIM (SUCCAR e KASSEM, 2015).

Quanto à amostra de respondentes, foi realizada uma seleção por meio de amostragem por julgamento. Foram escolhidos oito colaboradores que atuam diretamente em projetos na indústria da construção, todos com formação em engenharia e experiência em atividades relacionadas à gestão de projetos. Os questionários serão disponibilizados via e-mail, e a verificação documental de credenciais e experiência foi conduzida para confirmar a autenticidade de seus perfis profissionais.

3.4.2 Entrevistas individuais

Para conceber um novo Modelo de Maturidade BIM para o setor da construção, torna-se essencial a formação de uma amostra representativa de profissionais. Esta amostra, composta por arquitetos, engenheiros e gerentes de projetos experientes, busca uma ampla diversidade em termos de níveis hierárquicos e experiências, abrangendo empresas de diferentes tamanhos. Além disso, é imperativo incorporar profissionais familiarizados com os conceitos de sustentabilidade e as inovações da I4.0, assegurando assim uma perspectiva completa e relevante.

Na primeira fase do processo, foram realizadas entrevistas semiestruturadas utilizando um protocolo focado na avaliação da suficiência, precisão e relevância dos componentes do MMB (Apêndice 1). As respostas foram analisadas utilizando análise de conteúdo qualitativa temática seguindo a metodologia de PARK *et al.* (2017), que permite a identificação de padrões e temas emergentes na pesquisa qualitativa.

No processo de elaboração do nosso instrumento de coleta de dados, adaptamos o questionário do MMB por meio de uma abordagem de estudo piloto que incluiu entrevistas para avaliar os elementos do instrumento. Inicialmente, redigimos um rascunho do questionário com base no Modelo de Maturidade conceitual, formulando uma pergunta (item) para cada indicador digital. A adequação do tamanho da amostra foi confirmada ao atingir a saturação teórica, evidenciada pela convergência nas avaliações e ausência de temas emergentes significativos após a

sexta entrevista, alinhando-se com os critérios estabelecidos para estudos de validação de modelos de maturidade BIM (SUCCAR e KASSEM, 2015).

O processo de seleção e validação dos participantes seguiu um rigoroso protocolo que incluiu múltiplas camadas de verificação. Um processo de validação cruzada foi implementado, onde cada membro foi avaliado por pelo menos dois outros membros do painel, garantindo consistência e qualidade dentro do grupo. Adicionalmente, realizou-se uma verificação documental detalhada de credenciais e experiência para confirmar a autenticidade dos perfis profissionais, complementada por entrevistas preliminares para verificar o conhecimento específico necessário para o projeto.

Na elaboração do instrumento de coleta de dados, o questionário do MMB foi adaptado através de uma abordagem de estudo piloto que incluiu entrevistas com diversos profissionais-chave do setor. Entre estes profissionais, participaram arquitetos, engenheiros civis, especialistas em construção e I4.0, gerentes de construção e representantes de órgãos públicos na área da construção. Esta diversidade de participantes foi crucial para garantir uma amplitude de perspectivas e experiências que enriqueceram o desenvolvimento do modelo.

O propósito desta abordagem é capturar percepções valiosas que servirão como base para o desenvolvimento de um Modelo de Maturidade BIM que não apenas reflita a complexidade da construção moderna, mas também promova a integração efetiva destes conceitos essenciais. A diversidade de expertise e níveis de experiência do painel selecionado assegurou uma cobertura abrangente de perspectivas, validando que o tamanho da amostra era adequado para capturar toda a complexidade do modelo de maturidade, mantendo a eficiência da pesquisa.

Esta etapa foi conduzida para identificar e resolver possíveis problemas no conteúdo, garantindo assim um refinamento ótimo das perguntas. Certificamo-nos de que os profissionais em empresas de projetos de fabricação não enfrentassem dificuldades ao responder às perguntas. As entrevistas preliminares também serviram para verificar o conhecimento específico requerido para o projeto, e um monitoramento contínuo da saturação de informações foi mantido para assegurar a abrangência dos dados coletados.

3.4.3 Grupo focal

Para a validação do modelo, optou-se pelo método de grupo focal envolvendo um o grupo de especialistas da indústria, cuidadosamente selecionados na seção 3.3.1 (GUEST *et al.*, 2017; STEWART e SHAMDASANI, 2017). Este grupo era independente dos participantes das entrevistas iniciais, e as sessões foram moderadas pelo pesquisador principal, que possui vasta experiência em gestão da construção e metodologias de pesquisa qualitativa.

O processo de validação incluiu seis sessões estruturadas de grupo focal, cada uma com duração aproximada de 120 minutos. O instrumento principal empregado foi um protocolo detalhado, complementado por uma lista de verificação baseada em uma escala Likert de 5 pontos para avaliação quantitativa (Apêndice 2). Cada sessão foi dividida em três estágios - avaliação individual dos componentes do MMB, brainstorming colaborativo para propostas de melhoria e discussões visando alcançar consenso.

Os pesquisadores criaram um ambiente permissivo dentro do grupo focal e incentivaram os participantes a compartilharem suas percepções e perspectivas sem pressão para votar ou chegar a um consenso. Em seguida, realizaram uma análise cuidadosa e sistemática das discussões para descobrir como os participantes percebem o modelo (MORGAN, 1996). As razões para escolher este método, adaptadas de KRUEGER e CASEY (2015), incluem -

- A capacidade dos pesquisadores de abordar o problema a partir da perspectiva do público-alvo, partindo da premissa de que o novo MMB integrará elementos de sustentabilidade e Indústria 4.0 para a avaliação de projetos na indústria da construção
- A coleta de dados qualitativos relevantes, começando com perguntas mais gerais que se tornam mais específicas ao longo da reunião
- A eficácia na promoção e sustentação de iniciativas para aprimorar a qualidade, atendendo aos propósitos inerentes ao MMB

Para reforçar o rigor quantitativo, as variáveis de entrada do modelo foram definidas através do grupo focal, avaliando seu impacto usando o método Item-Objective Congruence (IOC) (TURNER e CARLSON, 2003), que traduz as opiniões qualitativas dos especialistas em métricas quantitativas, conforme ilustrado na Tabela 17. Os valores IOC demonstraram níveis consistentemente altos de concordância em todas as dimensões avaliadas, e o processo culminou em um

índice Fleiss' Kappa de 0,76, refletindo excelente concordância entre os especialistas (FLEISS, 1971).

Tabela 17 – Análise IOC dos Especialistas sobre as Dimensões do Modelo de Maturidade BIM

Dimensão	Indicador	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Total	IOC
Processos	Planejamento	1	1	1	0	1	1	0	1	6	0.75
	Gestão de Documentos	1	1	0	1	1	0	1	1	6	0.75
	Operação & Manutenção	0	1	1	1	0	1	0	1	5	0.63
Tecnologia	Integração de Sistemas	1	1	1	1	1	0	1	1	7	0.88
	Infraestrutura	1	1	0	1	1	1	1	0	6	0.75
Pessoas	Competências	1	1	1	1	0	1	1	1	6	0.75
	Colaboração	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1
Organização	Governança	1	1	0	1	1	1	0	1	6	0.75
	Gestão de Projetos	1	1	1	1	0	1	1	1	7	0.88
Política	Regulamentação	0	1	1	0	1	1	1	0	5	0.63
	Políticas BIM	1	1	0	1	1	1	0	1	6	0.75
Sustentabilidade	Gestão do Ciclo de Vida	1	0	1	0	1	1	1	0	5	0.63
	Gestão de Riscos	1	1	1	1	1	0	1	1	7	0.88
	Gestão de Resíduos	0	1	1	1	0	1	1	0	5	0.63
	Emissões	1	1	0	1	1	1	0	1	6	0.75

Fonte - Elaborado pelo autor.

Embora o estudo tenha reportado uma média de 17,4 anos de experiência, não foram diferenciadas explicitamente as opiniões baseadas em níveis de experiência. Em vez disso, os potenciais impactos da variação de experiência foram abordados através de três medidas principais - (1) utilização do Fleiss' Kappa para avaliação de consenso entre todos os especialistas (LI *et al.*, 2024), (2) implementação de protocolos estruturados de grupo focal assegurando participação igualitária (GUEST *et al.*, 2017; STEWART e SHAMDASANI, 2017), e (3) estabelecimento de um limite mínimo de 15 anos de experiência (EDIRISINGHE, 2018).

Técnicas participativas como a técnica de grupo nominal e exercícios estruturados de brainstorming foram utilizadas. Todas as sessões foram gravadas, transcritas e analisadas através de análise de conteúdo temática. Os dados quantitativos das listas de verificação foram processados usando estatística descritiva, complementando os achados qualitativos. O processo iterativo através das três fases, envolvendo dois

grupos distintos de especialistas, assegurou o refinamento contínuo e a validação robusta do MMB.

Esta abordagem metodológica foi justificada pela estreita faixa de experiência (15-20 anos), indicando que todos os participantes possuíam expertise substancial em construção digital e implementação BIM (AYINLA e ADAMU, 2018). Os altos níveis de consenso alcançados através do Fleiss' Kappa, combinados com participação sistemática round-robin e mecanismos de feedback anônimo (STEWART e SHAMDASANI, 2017), demonstraram que as variações de experiência dentro de nossa faixa não impactaram significativamente a validade dos achados. Esta abordagem baseada em consenso alinhou-se com as práticas atuais de pesquisa em gestão da construção (JIN *et al.*, 2019), enfatizando a expertise coletiva sobre ponderações de experiência individual, mantendo o rigor metodológico e minimizando potenciais vieses baseados em experiência (CAIADO *et al.*, 2021).

Resultados

Este capítulo apresenta os principais resultados da pesquisa. Um modelo de maturidade em BIM é proposto para avaliar a maturidade e promover melhorias nos processos relacionados à transformação digital e sustentabilidade. Técnicas multicritério, como ELECTRE TRI-nC, são detalhadas para priorizar as dimensões do modelo. O modelo inclui uma tabela com os níveis de maturidade correspondentes a cada dimensão. Um framework com etapas para aplicação do modelo, incluindo avaliação da maturidade atual, identificação de lacunas e proposição de ações para progredir nos diferentes níveis, é apresentado para facilitar sua aplicação.

4.1

Proposição de MM de BIM para I4.0 e sustentabilidade

No dinâmico cenário da construção, a transformação em direção à I4.0 e sustentabilidade é uma demanda (BATAGLIN *et al.*, 2022). O BIM emerge como uma ferramenta fundamental nesse contexto, com sua capacidade intrínseca de agilizar processos, otimizar a alocação de recursos e promover a colaboração (PEZESHKI; IVARI, 2018). No entanto, para aproveitar ao máximo o potencial do BIM, uma implementação e melhoria contínuas e bem estruturadas são necessárias (AHN *et al.*, 2016). É aqui que os Modelos de Maturidade em BIM desempenham um papel central (SUN *et al.*, 2021). De fato, esses modelos não se limitam à adoção tecnológica, mas também servem como guia para que as organizações compreendam e aproveitem plenamente as capacidades do BIM, impulsionando a transformação digital e sustentável da construção (EDIRISINGHE *et al.*, 2021).

Esse enfoque de construção do MMB se alinha com a necessidade de superar as limitações dos Modelos de Maturidade BIM tradicionais, que frequentemente adotam uma abordagem ampla, incluindo aspectos como cultura organizacional e liderança (SCHERY, *et al.*, 2023; SIEBELINK *et al.*, 2021). Embora esses elementos sejam cruciais, podem diluir o foco em ferramentas, padrões e práticas específicas que impactam a eficácia do BIM em impulsionar a digitalização e a sustentabilidade (PURVIS *et al.*, 2019; SCHERY *et al.*, 2023).

No contexto da pesquisa, foi conduzida uma análise aprofundada da tabela comparativa de modelos de maturidade BIM (MMB) com o intuito de enriquecer um modelo próprio de maturidade BIM, considerando os aspectos de digitalização e sustentabilidade. A revisão dos diversos modelos apresentados revelou dimensões relevantes, como Gestão de Dados, Colaboração Digital e Desempenho Ambiental, desdobradas em indicadores específicos para permitir uma avaliação detalhada do nível de maturidade em cada área.

Durante o processo de construção do MMB, foram realizadas três iterações. Na primeira, foram incluídos elementos básicos, como número de níveis, descritores para cada nível e dimensão, e número de perspectivas. Na segunda iteração, os dados coletados da comparação do MMB foram reavaliados e aprimorados por meio de entrevistas, nas quais foram propostos níveis e categorias (dimensões) do MMB. A terceira iteração envolveu grupos focais para discutir as categorias, desenvolver subcategorias (perspectivas), categorias detalhadas para as subcategorias (descrição do modelo conceitual) e indicadores.

No que tange aos indicadores, é notável a diversidade de métricas empregadas para mensurar o desempenho em cada dimensão. Modelos como os propostos por LIANG *et al.* (2016) e EDIRISINGHE *et al.* (2021) enfatizam indicadores intrinsecamente relacionados ao BIM, abrangendo planejamento, modelagem, colaboração e interoperabilidade. Por outro lado, modelos como o de HEINPENSEL *et al.* (2023) incorporam indicadores orientados à sustentabilidade, englobando eficiência energética e responsabilidade social. Esta multiplicidade de indicadores ressalta a necessidade de selecionar cuidadosamente as métricas mais adequadas para avaliar tanto a digitalização quanto a sustentabilidade no âmbito do BIM.

Em relação aos níveis de maturidade, predomina a adoção de uma escala de cinco níveis, que vão desde o nível inicial até o nível otimizado ou excelente. Essa abordagem proporciona uma diferenciação clara entre as diferentes etapas de maturidade, oferecendo um caminho de evolução para as organizações. Alguns modelos, como o proposto por DUNEL *et al.* (2022), incluem um nível "pré-BIM" para representar a ausência de práticas BIM, o que pode ser pertinente para avaliar organizações que ainda não iniciaram sua jornada de transformação digital, da digitalização até I4.0.

Além disso, certos modelos se destacam pelo foco em aspectos específicos. O modelo de SANTOS e MARTINHO (2020), por exemplo, aborda dimensões como fábricas inteligentes, processos inteligentes e produtos e serviços inteligentes, destacando a relevância de considerar a integração do BIM com outras tecnologias e conceitos da Indústria 4.0.

À luz dessas observações, torna-se possível aprimorar o modelo de maturidade BIM proposto anteriormente, incorporando dimensões, indicadores e níveis de maturidade relevantes identificados na análise comparativa. Essa abordagem integrativa e abrangente permitirá a construção de um modelo robusto e bem fundamentado, capaz de orientar as organizações em sua jornada de adoção e aprimoramento das práticas BIM, impulsionando tanto a digitalização quanto a sustentabilidade na indústria da construção. A Tabela 18 apresenta uma visão geral de cada nível de maturidade e o MMB utilizado como contexto.

Tabela 18 – Comparação de Modelos de Maturidade - Dimensões, Indicadores e Níveis

Modelo	Dimensões	Indicadores	Níveis
Afonso et al.(2013)	3 dimensões - Água, Saúde, Educação	3 indicadores - Indicador - Água encanada Indicador - IDH Indicador - IDEB	5 níveis de maturidade - Simplificado, Gerenciado, Aplicado, Medido, Transformado
Kam et al. (2013)	4 dimensões - Adoção, Tecnologia, Planejamento, Desempenho	5 indicadores -(Convencional, Típico, Avançado, Melhor, Prática Inovadora)	3 níveis de maturidade - 4 Áreas do Scorecard (Planejamento, Adoção, Tecnologia, Desempenho), 10 Divisões do Scorecard, 56 Medidas do Scorecard
Schumacher et al. (2016)	9 dimensões - Estratégia, Liderança, Clientes, Produtos, Operações, Cultura, Pessoas, Governança, Tecnologia.	62 indicadores de maturidade distribuídos nas 9 dimensões	5 níveis de maturidade
Liang et al. (2016)	Processo, produto, organização e tecnologia	8 indicadores, como planejamento BIM, modelagem BIM, análise BIM, gestão BIM	5 níveis, desde o nível 1 (inicial) até o nível 5 (otimizado)
de Carolis (2017)	4 dimensões - Gerenciamento de operações de produção, Gerenciamento de estoques, Gerenciamento de operações de teste de qualidade e Gerenciamento de operações de manutenção	5 aspectos críticos para adoções de Manufatura Inteligente - maturidade tecnológica, maturidade de conectividade de informação, maturidade de processo, maturidade organizacional, e capacidade e maturidade de pessoal	5 níveis - Inicial, Gerenciado, Definido, Integrado e interoperável, Orientado para a digitalização
Gökalp et al. (2017)	4 - Processo de transformação, gestão de aplicativos, governança de dados, gestão de ativos e alinhamento organizacional 3 dimensões - Gestão de projetos, Gestão da informação E Gestão da construção	9 atributos de aspecto definidos, como integração vertical, integração horizontal, controle	6 níveis de capacidade adotados do SPICE, de Incompleto a Otimização
Smits et al. (2017)		Organizacional Tecnológica Processual Cultural	4 níveis Inicial, Estruturado, Transparente, Integrado

Mittal et al. (2018)	Pequenas e Médias Empresas (PMEs)	16 requisitos específicos para PMEs de manufatura	Propõe um “nível 0” para refletir o ‘nível base real’ para PMEs
Xue et al. (2018)	5 dimensões - (Estabelecer escala, estabelecer níveis de granularidade, isolar áreas de competência, isolar níveis de maturidade e gerar relatório de maturidade)	10 indicadores - Projeto, Organização, Unidade organizacional Descoberta, Avaliação, Certificação Auditoria, Modelagem, Colaboração Integração	5 níveis de maturidade de (Inicial, Definido, Gerenciado, Integrado, Otimizado)
Wiesner et al. (2018)	Estratégia, tecnologia, organização e pessoas	10 indicadores, como estratégia digital, infraestrutura digital, processos digitais, competências digitais	4 níveis, desde o nível 1 (iniciante) até o nível 4 (líder)
Mollasalehi et al. (2018)	4 dimensões - Organização Tecnologia Pessoas Cultura	4 - Conscientização Integração Eficácia Eficiência	5 níveis Inicial Definido Avançado Integrado Otimizado
Babatunde et al. (2019)	4 dimensões - Processo, produto, organização e tecnologia	7 indicadores, como planejamento BIM, modelagem BIM, colaboração BIM, gestão BIM	3 níveis, desde o nível 1 (baixo) até o nível 3 (alto)
Joblot et al. (2019)	5 dimensões - Gerenciamento de mudanças, Troca de dados, Treinamento da equipe, Implementação de indicadores para gerenciar projetos, Melhoria contínua	7 indicadores - Estratégia, Fundamentos, Colaboração, Processo, Pessoas, Tecnologia, Padrões, Ferramentas e Recursos de Capacitação	4 níveis - Escala (0%-100%) Fundamentos, Estratégia, Recursos humanos, Colaboração, Processos de negócios, Tecnologia, Funcionalidades direcionadas, Padrões e procedimentos, Maturidade da convenção BIM
Dikhanbayeva et al. (2020)	3 indicadores - Capacidades de pessoal, liderança e colaboração	8 indicadores - Interoperabilidade, Virtualização, Descentralização, Capacidade em tempo real, Orientação de serviços, Modularidade, Produto inteligente, Responsabilidade social corporativa	4 níveis Básica, Baixa, Moderada e Alta
Ferraz et al. (2020)	2 dimensões - Organizacional, Tecnológica	4 Estratégia de informação, Gestão de dados, Gestão de conhecimento	4 níveis Inicial, Em desenvolvimento, Avançado, Otimizado

Santos e Martinho (2020)	8 dimensões - Estratégia, estrutura, cultura organizacional; Força de trabalho; Fábricas inteligentes; Processos inteligentes; Produtos e serviços inteligentes	Indicadores (número por dimensão) - Estratégia, estrutura e cultura organizacional (7) Força de trabalho (5) Fábricas inteligentes (7) Processos inteligentes (7) Produtos e serviços inteligentes (6)	6 níveis de maturidade de 0 a 5
Edirisinghe et al. (2021)	Processo, produto, organização e tecnologia	12 indicadores, como planejamento BIM, modelagem BIM, colaboração BIM, interoperabilidade BIM, 10 indicadores - Software, Hardware, Rede, Leis, Padrões, Políticas, Habilidade Pessoal, Experiência do Gerente, Requisitos e Investimentos do Proprietário, Método de Entrega	5 níveis, desde o nível 1 (inicial) até o nível 5 (otimizado)
Sun et al. (2021)	3 dimensões - Tecnologia, Sociedade e Participantes	9 indicadores, como alinhamento de objetivos, gestão de fluxo, integração de equipes, uso de ferramentas BIM, etc.	4 níveis - Inviabilidade, Dispersão, Integração e Maturidade
Rashidian et al. (2022)	Processo, produto, organização e tecnologia	25 indicadores relacionados às dimensões	3 níveis, desde o nível 1 (baixo) até o nível 3 (alto)
Alankarage et al. (2022)	Pessoas, Processos, Tecnologia e Política		5 níveis
Pereira et al. (2022)	3 dimensões - Tecnologias, Processos, Políticas e Escala macro	3 indicadores - Nível de maturidade, Classificação textual, Classificação numeral	5 níveis - inicial, definido, gerenciado, integrado e otimizado
Dunel et al. (2022)	3 dimensões - Processos, Política, Tecnologia	3 indicadores - Índice de maturidade, Nível de maturidade, Classificação textual	5 níveis - pré-BIM, inicial, definido, integrado e otimizado
Hein-pensel et al. (2023)	Interação homem-máquina, sustentabilidade, segurança e ética	15 indicadores, como colaboração homem-máquina, eficiência energética, proteção de dados, responsabilidade social, 16 indicadores - Estratégia, Liderança, Treinamento, Gestão de projetos, Gestão de dados, Gestão de mudanças, Arquitetura de informação, Software, Integração de sistemas, Segurança, Regulamentação, Financiamento, Promoção, Atitude, Colaboração, Inovação	4 níveis, desde o nível 1 (básico) até o nível 4 (avançado)
Adekunle et al. (2023)	4 dimensões - Organizacional, Tecnológica, Política, Cultural		4 níveis - Inicial, Desenvolvimento, Otimização
Modelo	Dimensões	Indicadores	Níveis

Opoku e Fortune (2011)	3 - Aprendizagem Organizacional, Maturidade Organizacional, Sustentabilidade	2 - Revisões Pós-Projeto, Avaliações Pós-Ocupação	5 - Inicial, Repetível, Definido, Gerenciado e Otimizado
Terouhid e Ries (2016)	3 - desempenho econômico, desempenho ambiental, desempenho social.	5 - Liderança, Política e Estratégia, Pessoas, Parceria e Processo.	5 - Inicial, Repetível, Definido, Gerenciado e Otimizado
Mollasalehi et al. (2018)	4 - Estratégia, Processo, Tecnologia e Pessoas	16 - Visão, Objetivos, Governança, etc.	5 - Inicial, Consciente, Definido, Gerenciado e Excelente
Ma et al. (2019)	4 dimensões - gestão de processos, gestão de informações, gestão de recursos e gestão de tempo	21 áreas-chave de processo como indicadores para as diferentes dimensões e níveis de maturidade	5 níveis - inicial, crescimento, padrão, quantificação e otimização.
Badawy (2020)	Processos, tecnologia, política, pessoas	Uso de modelagem 4D, 5D e 6D, colaboração interdisciplinar, políticas BIM	5 níveis - Inicial, Definido, Gerenciado, Integrado, otimizado
Bões et al. (2021)	3 - Pessoas, Processos e Tecnologia	9 - Competências, Estratégia, Cultura, etc.	5 - Inexistente, Inicial, Definido, Gerenciado e Otimizado
Sun et al. (2022)	8 - desempenho de stakeholder, equipe, abordagem e ciclo de vida de desenvolvimento, planejamento, trabalho de projeto, entrega, medição e incerteza.	37 das 8 dimensões de desempenho do PMBOK	5 - níveis de maturidade para PBM e PBA.
Mohammed (2022)	3 - Ambiental, Econômica e Social	9 - Emissões, Resíduos, Energia, etc.	Não
Brahim et al. (2023)	5 - Estratégia, Processo, Tecnologia, Pessoas e Organização	25 - Visão, Objetivos, Governança, etc.	5 - Inicial, Consciente, Definido, Gerenciado e Excelente
Sternad	2	10 indicadores baseados na estrutura de gerenciamento do ciclo de vida	5 níveis - inicial, emergente, desenvolvido, maduro e avançado
Zabukovšek et al. (2023)	Gestão de documentos e transformação digital		
Chen et al. (2024)	4 - Estratégia, Processo, Tecnologia e Pessoas	16 - Visão, Objetivos, Governança, etc.	5 - Inicial, Consciente, Definido, Gerenciado e Excelente

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Foi desenvolvido um MMB composto por seis níveis, que abrangem desde a inexistência de práticas BIM até a otimização completa dos processos digitais e sustentáveis na organização. O MMB é uma ferramenta que permite avaliar o estado atual de maturidade digital de uma organização e traçar um caminho de melhoria progressiva em direção a maiores capacidades BIM e sustentabilidade. A Tabela 19 descreve cada um desses níveis em detalhes, abrangendo um espectro que vai desde a total falta de processos BIM formalizados, passando por estágios crescentes de padronização e integração de dados, até alcançar um estado de otimização contínua dos processos, habilitado por ecossistemas digitais interconectados.

No nível 0, observa-se que o processo BIM não está implementado formalmente, com pouco controle e gestão reativa, sem tecnologias ou infraestrutura para apoiar a transformação digital. Conforme se avança nos níveis, nota-se uma progressão gradual na adoção e formalização dos processos BIM, passando pela padronização, implementação de tecnologias e requisitos, até alcançar a integração e interoperabilidade por meio de padrões comuns em toda a organização.

Nos níveis mais avançados, como o nível 4, o MMB está centrado na digitalização e na sustentabilidade, apoiado por uma sólida infraestrutura tecnológica e uma organização com alto potencial de crescimento. Neste estágio, os dados disponíveis permitem a simulação em tempo real, facilitando diagnósticos e tomada de decisões colaborativas, além de incorporar inteligência artificial e capacidades de autoaprendizado nos sistemas de informação. Já no nível 5, considerado o estágio mais avançado do modelo BIM, há uma incorporação total dos objetivos de otimização digital e sustentável da organização. Por meio de ecossistemas digitais interconectados que coletam dados em tempo real, torna-se possível realizar análise preditiva, detecção automatizada de gargalos, adaptação ágil e customização contínua. Neste nível, o BIM permite não apenas a implementação enxuta e eficiência máxima de projetos, mas também posiciona a empresa na fronteira da construção sustentável.

A elaboração do MMB seguiu um rigoroso processo de 4 etapas, alinhado com a metodologia de 7 etapas proposta por BECKER *et al.* (2009) para o desenvolvimento do modelo. Além disso, foi aplicado um enfoque de método de pesquisa múltipla, conforme recomendado por LIEBRECHT *et al.* (2017), que envolveu a combinação de análise de conteúdo, entrevistas, grupos focais e estudo de caso. Nesse processo, a etapa 4 foi centrada na validação iterativa do MMB. As

etapas restantes incluíram a definição adequada do problema, análise de modelos anteriores, definição de estratégias de design e implementação, e avaliação contínua. Esse sólido enfoque metodológico foi adotado para garantir a utilidade do MMB como uma ferramenta eficaz para impulsionar tanto a transformação digital quanto a sustentabilidade em projetos de construção.

Tabela 19 – Níveis de maturidade MMB

Nível	Nome do nível	Descrição	Modelo
0	Não existe	O processo BIM não está implementado formalmente, é gerado sem padrões e com pouco controle. A gestão é reativa, sem tecnologias ou infraestrutura para apoiar a transformação digital. Conceitos de Indústria 4.0 não são abordados em BIM. Os sistemas de TI só suportam usos limitados, gerando ilhas isoladas de dados, sem integração. Falta entendimento do potencial do BIM para impulsionar a digitalização e sustentabilidade na construção.	MOHAMMED, 2022 SCHUMACHER <i>et al.</i> , 2016
1	Inicial	Iniiciou-se um processo formal de BIM, permitindo maior conhecimento sobre sua adoção e avanço. No entanto, a gestão de processos BIM continua sendo fraca por falta de organização e tecnologias. Existe maturidade parcial na gestão de BIM para infraestrutura digital, abordando Indústria 4.0 em departamentos e conectando aplicações, com dados integrados num sistema empresarial, porém sem intercâmbio automatizado. Este cenário enfatiza continuar avançando na maturidade do BIM para alcançar uma efetiva digitalização e sustentabilidade.	ALANKARAGE <i>et al.</i> , 2022 BADAWY, 2020 GÖKALP <i>et al.</i> , 2017
2	Desenvolvimento	Consegue-se a padronização e implementação de tecnologias e requisitos em BIM para detectar potencial de melhoria digital e sustentável, bem como para estabelecer abordagens computadorizadas com processos de dados automatizados. O processo BIM está documentado e definido formalmente graças à adoção de boas práticas e procedimentos de gestão.	DE CAROLIS <i>et al.</i> , 2017 KAM <i>et al.</i> , 2013
3	Integrado	No entanto, persistem lacunas de integração e interoperabilidade entre as diferentes aplicações, apesar do intercâmbio de dados estruturados. O modelo de maturidade BIM para impulsionar a digitalização e a sustentabilidade foca na integração e interoperabilidade por meio de padrões comuns em toda a organização, com indicadores e processos otimizados que permitem avaliar oportunidades e aplicar benchmarking. Seus princípios transcender limites corporativos, contando com parceiros alinhados e planejamento integrado. São utilizadas técnicas seguras de acesso aos dados, sistemas de simulação e predição de dados para otimizar projetos, aproveitando a interoperabilidade para promover ações automáticas preventivas. Dessa forma, o modelo BIM maduro constitui uma plataforma sólida para avançar estrategicamente na transformação digital e sustentabilidade.	LIANG <i>et al.</i> , 2016 FERRAZ <i>et al.</i> , 2020 MA <i>et al.</i> , 2019 MOLLASALEHI <i>et al.</i> , 2018 TEROUHID; RIES, 2016
4	Gerenciado quantitativamente	O modelo de maturidade BIM está centrado na digitalização e na sustentabilidade, apoiado por uma sólida infraestrutura tecnológica e uma organização com alto potencial de crescimento. Neste nível, os dados disponíveis permitem a simulação em tempo real, facilitando diagnósticos e tomada de decisões colaborativas. Este grau de maturidade implica a completa digitalização de processos internos e interempresariais, juntamente com uma colaboração intensiva. São incorporadas inteligência artificial e capacidades de auto aprendizado nos sistemas de informação, criando processos proativos para a previsão e planejamento de futuros projetos . Além disso, a visualização de dados e sistemas externos é integrada com parceiros para promover a previsibilidade e a implementação inteligente de projetos.	ADEKUNLE <i>et al.</i> , 2023 DIKHANBAYEVA <i>et al.</i> , 2020 OPOKU; FORTUNE, 2011 SANTOS; MARTINHO, 2020 WIESNER <i>et al.</i> , 2018

5	Otimizado	O estágio mais avançado do modelo BIM incorpora totalmente objetivos de otimização digital e sustentável da organização. Por meio de ecossistemas digitais interconectados que coletam dados em tempo real, é possível realizar análise preditiva, detecção automatizada de gargalos, adaptação ágil e customização contínua.	CHEN <i>et al.</i> , 2024
		Ao integrar parceiros e antecipar necessidades emergentes, o BIM nesse nível permite não apenas implementação enxuta e eficiência máxima de projetos, mas posiciona a empresa na fronteira da construção sustentável.	MOHAMMED, 2022
		Dessa forma, o modelo BIM maduro torna-se uma plataforma estratégica para aprimoramento contínuo rumo à excelência organizacional.	TEROUHID; RIES, 2016

Fonte - Elaborado pelo Autor.

O estudo apresentado na Tabela 20 revela uma análise aprofundada e sistemática das dimensões e indicadores cruciais para a avaliação da maturidade BIM, fundamentada em uma extensa revisão de modelos de referência consolidados na literatura científica, conforme indicado pelos autores citados na própria tabela.

Por meio de um processo colaborativo envolvendo grupos focais exploratórios, estabeleceu-se um consenso entre os especialistas sobre as seis dimensões-chave para a avaliação da maturidade BIM - Processos, Tecnologia, Pessoas, Organização/Estratégia, Política e Sustentabilidade. Os grupos focais permitiram uma discussão aprofundada e o compartilhamento de insights entre os participantes, levando à identificação dessas dimensões críticas. Essa visão multidimensional proporciona uma perspectiva abrangente das atividades internas e externas relacionadas à maturidade BIM, abordando aspectos fundamentais como tecnologias, processos, metodologias e boas práticas gerenciais.

Para cada dimensão, foram definidos indicadores específicos, totalizando 16 métricas de avaliação cuidadosamente selecionadas com base na literatura relevante e na expertise dos participantes, buscando uma taxonomia abrangente e aplicável à realidade dos projetos BIM. O processo de avaliação de cada nível de maturidade nas subcategorias estabelecidas envolveu inicialmente um grupo focal para a derivação de indicadores, seguido por um segundo grupo confirmatório que analisou e otimizou a taxonomia proposta por meio de uma comparação dedutiva com a literatura em MMB. Essa abordagem metodológica rigorosa assegura a robustez e a validade dos resultados apresentados na Tabela 16, que sintetiza o trabalho relacional entre os modelos previamente revisados e a taxonomia desenvolvida.

Tabela 20 – Dimensões e indicadores do MMB

Modelo	Dimensões	Indicadores	Descrição do Indicador	Taxonomia dos indicadores
Liang et al. (2016) Babatunde et al. (2019) Sun et al. (2021)	Processos	Planejamento	Esse indicador refere-se à eficácia dos processos de planejamento no projeto. Ele inclui a definição de objetivos, a alocação de recursos e a programação.	Indicador de processo de projeto
		Operação e Manutenção	Avalia a gestão de operação e manutenção de ativos visando eficiência e sustentabilidade	Indicador de processo de operação
		Gestão de documentos	Mede a maturidade da gestão documental e integração com BIM	Indicador de processo de gestão
Kam et al. (2013) Wiesner et al. (2018)	Tecnologia	Integração de sistemas	Esse indicador avalia o grau de integração de diferentes sistemas e tecnologias no projeto. Um alto grau de integração pode melhorar a eficiência e a colaboração.	Indicador de tecnologia de informação
		Infraestrutura	Avalia a infraestrutura computacional para viabilizar BIM, digitalização e sustentabilidade	Indicador de infraestrutura tecnológica
Schumacher et al. (2016), Mollasalehi et al. (2018)	Pessoas	Competências	Esse indicador mede o nível de habilidades e competências da equipe do projeto. Uma equipe com altas competências pode realizar o projeto com mais eficiência e eficácia.	Indicador de competência humana
		Colaboração	Avalia a capacidade de colaboração interna e com parceiros em BIM visando construção sustentável	Indicador comportamental de colaboração
Schumacher et al. (2016), Wiesner et al. (2018), Babatunde et al. (2019)	Organização/Estratégia	Governança	Esse indicador refere-se à qualidade da governança do projeto. Ele inclui a tomada de decisões, a responsabilidade e a transparência.	Indicador de governança estratégica
		Gestão de projetos	Avalia métodos e capacidade de gestão de projetos BIM sustentáveis	Indicador de gestão de projetos
Alankarage et al. (2022), Dunel et al.(2022)	Política	Regulamentação Políticas BIM	Esse indicador refere-se à forma como os regulamentos são cumpridos no projeto. Avalia políticas organizacionais relacionadas a BIM e sustentabilidade	Indicador regulatório Indicador de política corporativa
		Emissões	Esse indicador mede as emissões de gases de efeito estufa do projeto. Um projeto sustentável deve se esforçar para minimizar essas emissões.	Indicador ambiental de emissões
Mohammed (2022), Afonso et al.(2013)	Sustentabilidade	Resíduos	Analisa geração, descarte e economia circular de resíduos da construção	Indicador ambiental de resíduos
		Gestão do ciclo de vida	Avalia o gerenciamento do ciclo de vida de projetos construídos considerando impactos econômicos, ambientais e sociais	Indicador de processo de gestão
		Gestão de riscos	Analisa gestão de riscos em projetos BIM considerando riscos econômicos, ambientais e sociais	Indicador de gestão de riscos

Fonte - Elaborado pelo Autor.

O modelo conceitual BIM proposto neste estudo foi desenvolvido com base em uma abordagem multidimensional, abrangendo seis dimensões críticas - Processos, Tecnologia, Pessoas, Organização/Estratégia, Política e Sustentabilidade. Essa abordagem holística é essencial para avaliar de forma abrangente a implementação BIM, considerando não apenas os aspectos técnicos, mas também os fatores humanos, organizacionais e estratégicos que influenciam o sucesso da adoção do BIM.

Cada dimensão é composta por indicadores-chave que permitem uma avaliação quantitativa da maturidade BIM em diferentes áreas. Os indicadores foram selecionados com base em sua relevância, aplicabilidade e capacidade de fornecer insights acionáveis para a melhoria contínua. A dimensão Processos abrange os indicadores Planejamento, Gestão de documentos e Operação e Manutenção, visando a eficiência, consistência e melhoria contínua dos fluxos de trabalho BIM. A dimensão Tecnologia, com os indicadores Integração de sistemas e Infraestrutura, destaca a importância da troca seamless de informações e do suporte adequado aos processos BIM.

Na dimensão Pessoas, os indicadores Competências e Colaboração evidenciam o papel crucial das habilidades técnicas e gerenciais, do trabalho em equipe e da comunicação eficaz para o sucesso da implementação BIM. A dimensão Organização/Estratégia, com os indicadores Governança e Gestão de Projetos, enfatiza a importância do alinhamento estratégico, da gestão eficaz de riscos e do monitoramento do desempenho dos projetos BIM.

A dimensão Política, com os indicadores Regulamentação e Políticas BIM, destaca a necessidade de diretrizes claras e incentivos para impulsionar a adoção do BIM em nível setorial e nacional. Por fim, a dimensão Sustentabilidade, com os indicadores Resíduos, Emissões, Gestão do ciclo de vida e Gestão de riscos, alinha a implementação BIM com os princípios de desenvolvimento sustentável e as tendências da Indústria 4.0.

Para facilitar a avaliação da maturidade BIM, foi desenvolvida uma escala de 0 a 5 para cada indicador, permitindo uma análise quantitativa em cada área. Essa abordagem fornece uma visão clara das forças e fraquezas da organização, orientando o desenvolvimento de planos de ação focados e eficazes. Além disso, a inclusão de aspectos de sustentabilidade e Indústria 4.0 demonstra uma visão de futuro, garantindo que as organizações estejam alinhadas com as tendências e

desafios emergentes do setor e mantendo a competitividade em um ambiente em constante evolução.

Em suma, o Modelo Conceitual BIM proposto oferece uma estrutura abrangente e detalhada para avaliar e aprimorar a maturidade BIM nas organizações. Ao considerar múltiplas dimensões e indicadores críticos, o modelo permite uma análise aprofundada das capacidades atuais e identifica oportunidades de melhoria, alinhadas com as melhores práticas e tendências do setor. Recomenda-se fortemente a adoção desse modelo como guia para impulsionar a excelência na implementação BIM.

Uma das principais vantagens deste modelo é sua abordagem holística. Essa abordagem integral permite identificar não apenas as capacidades técnicas, mas também as habilidades e competências da equipe, o alinhamento estratégico, a gestão de riscos e a adoção de políticas e padrões BIM. Ao considerar todos esses fatores, o MMB fornece uma avaliação completa e equilibrada do estado atual da implementação, estabelecendo as bases para um roteiro claro em direção à excelência na adoção do BIM, que é apresentada na Tabela 21.

Tabela 21 – Modelo Conceitual BIM - Dimensões, Indicadores e Níveis de Avaliação

		Níveis	0	1	2	3	4	5
Dimensões	Enfoque	Indicadores						
Processos	Otimização de processos	Planejamento						
		Gestão de documentos						
		Operação e Manutenção						
Tecnologia	Interoperabilidade	Integração de sistemas						
	Infraestrutura	Infraestrutura						
Pessoas	Capacitação e competências BIM	Competências						
	Colaboração e engajamento	Colaboração						
Organização/Estratégia	Alinhamento estratégico BIM	Governança						
	Governança	Gestão de projetos						
Política	Padronização e regulamentação BIM	Regulamentação						
	Políticas de adoção BIM	Políticas BIM						
	Análise de impacto ambiental	Resíduos						
Sustentabilidade	Gestão de resíduos e emissões	Emissões						
	Gestão do ciclo de vida	Gestão do ciclo de vida						
	Gestão de riscos	Gestão de riscos						

Fonte - Elaborado pelo Autor.

De acordo com as diretrizes estabelecidas por FRASER *et al.* (2002), os modelos de maturidade geralmente apresentam entre 3 e 6 níveis, cada um composto por dimensões ou áreas de processo com critérios ou atividades específicas. No MMB aqui apresentado, foram definidos 6 níveis progressivos, cada qual com uma nomenclatura descritiva e uma breve caracterização dos atributos típicos. As dimensões de maturidade são dispostas em linhas, enquanto os níveis são organizados em colunas, resultando em uma estrutura detalhada que é exibida na tabela. Essa configuração permite uma articulação integral dos componentes e categorias relevantes.

Um dos focos centrais desse modelo é a gestão do ciclo de vida BIM, que visa assegurar a aplicação efetiva do BIM em todas as etapas do projeto, desde a concepção até a operação e manutenção. Paralelamente, a otimização de processos desempenha um papel fundamental na maximização dos benefícios proporcionados pelo BIM, buscando a melhoria contínua e a eliminação de desperdícios. Nesse contexto, a interoperabilidade e a integração destacam-se como aspectos-chave para o pleno aproveitamento do BIM, viabilizando o intercâmbio eficiente de informações entre diferentes sistemas e disciplinas. Para tanto, a infraestrutura BIM revela-se crucial, fornecendo a base tecnológica necessária para suportar os processos colaborativos.

Além dos aspectos tecnológicos, o modelo enfatiza a importância das pessoas no percurso rumo à maturidade do BIM. A capacitação e o desenvolvimento de competências em BIM são essenciais para que as equipes possam explorar todo o potencial dessa metodologia. Adicionalmente, a colaboração e o engajamento mostram-se fundamentais na promoção de uma cultura de trabalho integrado e orientado por objetivos comuns. No âmbito organizacional e estratégico, o alinhamento do BIM com os objetivos e metas da empresa é vital para garantir uma adoção bem-sucedida. Nesse sentido, a governança e a gestão de riscos assumem um papel essencial, estabelecendo diretrizes claras, monitorando o desempenho e mitigando potenciais ameaças.

O modelo também aborda a dimensão política, ressaltando a importância da padronização e regulamentação do BIM, assim como das políticas de adoção dessa metodologia. Esses elementos são cruciais para a criação de um ambiente propício à disseminação e consolidação do BIM na indústria. A implementação de normas como a ISO 19650 e a criação de ambientes comuns de dados (CDE) são exemplos

concretos dessas iniciativas regulatórias. Os CDEs, em particular, desempenham um papel fundamental na gestão centralizada de informações, promovendo a colaboração eficiente entre todas as partes envolvidas nos projetos de construção. Além disso, políticas governamentais que incentivam ou exigem o uso do BIM em projetos públicos têm se mostrado catalisadoras para a adoção mais ampla dessa metodologia no setor privado, impulsionando a transformação digital da indústria da construção como um todo.

Por conseguinte, o modelo reconhece a importância fundamental da sustentabilidade, destacando a necessidade de analisar aspectos cruciais como as Emissões, a Gestão de Resíduos, o Ciclo de Vida e a Gestão de Riscos. Esses elementos são essenciais para uma implementação eficaz do BIM, contribuindo de maneira significativa para a construção de um futuro mais sustentável. Para estabelecer a confiabilidade e validade das etapas propostas no MMB, Indústria 4.0 e sustentabilidade, foi adotada uma abordagem científica rigorosa. Inicialmente, foi realizada uma revisão abrangente da literatura científica relevante, abrangendo estudos sobre maturidade BIM, Indústria 4.0, sustentabilidade e suas interseções, a fim de fundamentar teoricamente o desenvolvimento das dimensões, enfoques e indicadores do modelo, conferindo-lhe validade de conteúdo.

Em seguida, o modelo proposto passou por uma avaliação crítica realizada por um painel de especialistas renomados nas áreas de BIM, Indústria 4.0 e Sustentabilidade, seguindo o processo conhecido como validação de face. O objetivo desse processo foi analisar a pertinência, clareza e abrangência dos elementos do modelo, além de sugerir possíveis aprimoramentos. Posteriormente, foi conduzido um estudo piloto, no qual o modelo foi aplicado em um conjunto limitado de organizações ou projetos. Essa etapa teve como propósito testar a aplicabilidade, compreensão e adequação dos indicadores em situações reais, permitindo realizar ajustes e melhorias com base nos feedbacks e resultados obtidos.

Os resultados obtidos pelo modelo proposto foram comparados com os de outros MMB, Indústria 4.0 e Sustentabilidade já estabelecidos e validados na literatura, permitindo a avaliação da validade convergente e discriminante do novo modelo. Por fim, o modelo e os resultados dos estudos de validação foram submetidos à publicação em periódicos científicos conceituados, com revisão por pares,

contribuindo para a validação externa do modelo por meio do escrutínio pela comunidade científica.

Essa abordagem científica rigorosa foi essencial para garantir que o modelo fosse embasado teoricamente, aplicável na prática e capaz de medir de forma confiável e válida os fenômenos de interesse. A validação contínua e o aprimoramento do modelo com base em novos estudos e feedbacks da comunidade científica e profissional contribuem para sua evolução e consolidação ao longo do tempo, estabelecendo um alto nível de confiabilidade e validade para as etapas propostas no MMB, Indústria 4.0 e Sustentabilidade. Além disso, as dimensões de maturidade são organizadas em linhas, enquanto os níveis estão dispostos em colunas, formando uma estrutura detalhada que é apresentada na Tabela 22. Dessa forma, articulam-se integralmente os componentes e categorias relevantes.

Tabela 22 – MMB para projetos de construção

Dimensões	Enfoque	Indicadores	0 Não existe	1 Inicial	2 Desenvolvimento	3 Integrado	4 Gerenciado quantitativamente	5 Otimizado	Modelo
Processos	Gestão do ciclo de vida BIM(MOHAMMED, 2022a)	Planejamento	Sem processos BIM definidos	Uso informal e não padronizado de BIM	Processos BIM definidos, mas não padronizados	Processos BIM padronizados	Processos BIM maduros e melhoria contínua	Excelência em processos BIM	Liang et al. (2016) Babatunde et al. (2019) Sun et al. (2021)
		Operação e Manutenção	Manutenção reativa	Manutenção preventiva básica	Manutenção preventiva com uso limitado de dados	Manutenção preditiva com monitoramento de ativos	Manutenção preditiva e planejada com BIM	Automatização da manutenção inteligente via 4.0	
	Otimização de processos(KAM <i>et al.</i> , 2013)	Gestão de documentos	Documentos em papel	Documentos digitais não gerenciados	Controle documental inicial	Gestão documental padronizada	Gestão documental integrada com BIM	Gestão documental automatizada com IA	
Tecnologia	Interoperabilidade e integração(DUNEL <i>et al.</i> , 2022)	Integração de sistemas	Sem integração	Integração inicial	Integração parcial	Integração padronizada	Integração total	Auto integração em tempo real com IA	Kam et al. (2013) Wiesner et al. (2018)
	Infraestrutura BIM(BABATUNDE <i>et al.</i> , 2019)	Infraestrutura	Infraestrutura obsoleta	Infraestrutura básica	Infraestrutura intermediária	Infraestrutura preparada para 4.0 e BIM	Infraestrutura 4.0 e BIM	Generativa Infraestrutura de ponta para 4.0 e BIM	
Pessoas	Capacitação e competências BIM(BABATUNDE <i>et al.</i> , 2019)	Competências	Não há competências em BIM ou 4.0	Minorias com competência básicas	Parte da equipe com competência intermediária	Grande parte da equipe plenamente capacitada	Toda equipe altamente capacitada	Excelência e evolução contínua das competências	Schumacher et al. (2016),
	Colaboração e engajamento(DUNEL <i>et al.</i> , 2022)	Colaboração	Sem colaboração	Colaboração informal	Colaboração inicial estruturada	Colaboração padronizada	Colaboração plena integrada	Colaboração em tempo real	Mollasalehi et al. (2018)
Organização/ Estratégia	Alinhamento estratégico	Governança	Sem governança digital	Governança digital inicial	Governança digital básica	Governança digital padronizada	Governança digital plena	Governança preditiva em tempo real	Schumacher et al. (2016),

Política	BIM(MOHAMMED, 2022a) Governança e gestão de riscos(SUN <i>et al.</i> , 2021) Padronização e regulamentação BIM(BABATUNDE <i>et al.</i> , 2019) Políticas de adoção BIM(MOHAMMED, 2022a)	Gestão de projetos	Sem gestão de projetos	Gestão de projetos inicial	Gestão de projetos básica	Gestão de projetos integrada	Gestão de projetos com BIM	Gestão de projetos preditiva com IA	Wiesner et al. (2018), Babatunde et al. (2019)
		Regulamentação	Sem regulamentação	Regulamentação inicial	Regulamentação setorial	Regulamentação transversal	Regulamentação abrangente para I4.0 e BIM	Políticas e regulamentos modelo	Alankarage et al. (2022), Dunel et al.(2022)
		Políticas BIM	Sem políticas BIM	Conscientização sobre BIM	Políticas iniciais de BIM	Políticas consolidadas de BIM	BIM incorporado nas políticas	Liderança em políticas para sustentabilidade	
		Emissões	Sem controle de emissões	Medição inicial de emissões	Metas básicas de redução de emissões	Monitoramento padronizado e redução de emissões	Compensação integral de emissões	Emissões líquidas zero	
Sustentabilidade	Análise de impacto ambiental(LIANG <i>et al.</i> , 2016) Gestão de resíduos e emissões(MOLLA SALEHI <i>et al.</i> , 2018)	Resíduos	Sem gerenciamento de resíduos	Coleta não segregada e disposição de resíduos	Minimização e segregação inicial de resíduos	Gerenciamento integrado e reciclagem de resíduos	Economia circular de resíduos	Neutralidade de resíduos	Mohammed (2022), Afonso et al.(2013)
		Gestão do ciclo de vida	Sem gestão do ciclo de vida	Gestão do ciclo de vida inicial	Modelagem parcial do ciclo de vida	Modelagem do ciclo de vida padronizada	Integração completa do ciclo de vida	Otimização de todo o ciclo de vida	
		Gestão de riscos	Sem gestão de riscos	Identificação inicial de riscos	Processo básico de gestão de riscos	Processo padronizado de gestão de riscos	Integração total da gestão de riscos	Gestão de riscos preditiva com IA	

Fonte - Elaborado pelo Autor.

O marco teórico subjacente na transição dos níveis de maturidade BIM integrada se baseia na teoria das DCV, a qual permite às organizações se adaptarem e evoluírem em ambientes de alta complexidade tecnológica. Neste contexto, as transições entre níveis são determinadas por FCS, que não só representam elementos estruturais na implementação do BIM, mas também operam dentro de uma matriz multidimensional, onde a combinação de capacidades regenerativas, renovadoras e incrementais facilita o avanço progressivo na maturidade do BIM.

A Tabela desenvolvida oferece um guia detalhado para as empresas que buscam implementar seu nível de maturidade BIM em transição, contextualizando os fatores críticos de sucesso de acordo com as dimensões do BIM e a teoria da capacidade dinâmica de TEECE'S (2018). Organizados em seis dimensões (Tecnológica, Pessoas, Política, Processos, Organização/Estratégia e Sustentabilidade) e vinculados aos aspectos Regenerativo, Renovador e Incremental da capacidade dinâmica, os Fatores Críticos de Sucesso (FCS) são essenciais em cada etapa da transição para um MMB integrado com transformação digital e princípios de sustentabilidade.

A nível teórico, a estrutura do modelo se fundamenta na capacidade acumulativa da organização para integrar processos digitais, infraestrutura tecnológica e a capacitação do capital humano, alinhando-se com os princípios da Indústria 5.0. A governança destas dimensões no modelo se dá através da inter-relação entre tecnologia, processos, pessoas, estratégias organizacionais, políticas e sustentabilidade.

O nível avaliado, segundo CAIADO *et al.*(2016), pode ser útil para organizações que buscam aumentar sua competência por meio do desenvolvimento de estratégias específicas em cada etapa de transição, guiadas pelos FCS. Desde a melhoria da infraestrutura tecnológica até a promoção de uma cultura organizacional inovadora e sustentável ao passar do Nível 0 para o Nível 1, as ações específicas evoluem à medida que a empresa avança pelos níveis, refletindo as necessidades em mudança na integração digital e sustentabilidade.

Assim, os FCS não são isolados, mas fazem parte de uma dinâmica de aprendizagem organizacional que permite a maturidade progressiva do BIM através da absorção de inovações tecnológicas e o alinhamento com padrões globais. Sob esta lente teórica, os processos de transição se explicam em função do grau de

acumulação de capacidades dinâmicas e sua interdependência com os desafios próprios da transformação digital.

Esta Tabela não apenas oferece uma visão geral dos FCS em cada nível de transição, mas também fornece exemplos concretos de ações que a empresa pode tomar para avançar dentro do quadro de Maturidade BIM, transformação digital e sustentabilidade. Serve como um guia útil para identificar e priorizar os FCS em cada etapa da transição, permitindo que as empresas implementem o BIM de maneira integrada com a transformação digital e a sustentabilidade.

O agrupamento dos FCS em cada nível de transição de um MMB responde a uma lógica coerente e estruturada, que leva em consideração os desafios e requisitos específicos que as organizações enfrentam à medida que avançam em direção a uma maior maturidade na implementação do BIM. Esta abordagem permite tratar de maneira estratégica os aspectos críticos em cada etapa, desde a criação de uma infraestrutura tecnológica adequada e a capacitação do pessoal nas fases iniciais, passando pelo desenvolvimento de competências técnicas e a integração de processos em níveis intermediários, até a gestão de riscos legais e a otimização da colaboração nos níveis mais avançados.

A correta identificação, compreensão e aplicação destes FCS, adaptados ao contexto específico de cada organização e projeto, juntamente com uma abordagem sistemática e um comprometimento sustentado de todas as partes interessadas, estabelecem as bases para uma transformação digital bem-sucedida e uma adoção efetiva do BIM na indústria da construção.

Neste sentido, SUCCAR (2009) propôs um framework de maturidade BIM composto por cinco níveis, desde o inicial até o otimizado, destacando a importância dos FCS em cada fase de transição. Complementando esta perspectiva, GIEL e ISSA (2013) aprofundaram a identificação e classificação dos FCS para a implementação do BIM, agrupando-os em categorias como pessoas, processos, tecnologia e gestão, e ressaltando sua relevância ao longo das diferentes etapas de maturidade.

Em outro âmbito, CAIADO *et al.* (2016) propõem uma estratégia de transição para avançar entre os diferentes níveis de maturidade no modelo de Gestão de Riscos (RM) aplicado a projetos de construção. Em seu estudo, os autores definem atividades específicas que as organizações devem realizar para superar os obstáculos comuns associados a cada nível. Essas atividades incluem desde a

capacitação inicial em RM e campanhas de conscientização até a formalização de processos e a melhoria contínua de habilidades e ferramentas.

Além disso, pesquisadores como DAKHIL *et al.* (2019) e MÅNSSON e LINDAHL (2016) investigaram os desafios e estratégias essenciais para alcançar uma transição bem-sucedida entre os diferentes níveis de maturidade BIM. Seus estudos ressaltaram a importância de uma abordagem gradual e estruturada, o alinhamento dos FCS com os objetivos organizacionais, o desenvolvimento de competências por meio de capacitação, assim como a gestão eficaz da mudança. Estas estratégias são fundamentais para a construção de uma base sólida que permita a acumulação e o reforço das capacidades dinâmicas, conforme proposto por POWELL *et al.* (2024), e são essenciais para a transição entre os níveis de maturidade do BIM.

De acordo com essas estratégias, as referências associadas a cada FCS fornecem uma base sólida para pesquisa adicional e para compreender como aprimorar a implementação do BIM em um contexto de transformação digital e sustentabilidade. Esta compreensão é crucial para que as organizações possam adaptar-se e evoluir através dos níveis de maturidade BIM, integrando novas competências e alinhando-as com as capacidades dinâmicas necessárias para a inovação contínua, pavimentando o caminho para uma implementação eficaz e sustentável do BIM.

Segundo a teoria, as capacidades dinâmicas se desenvolvem de forma cumulativa e progressiva, partindo de capacidades de rotina até capacidades de aprendizado evolucionário. Cada nível de maturidade não apenas introduz novas capacidades, mas também se baseia e aprimora as capacidades dos níveis anteriores. Esta progressão não é linear, mas sim uma acumulação que reforça e expande as capacidades existentes, resultando em uma capacidade organizacional robusta e adaptável, essencial para navegar na complexidade da maturidade BIM.

Ao analisar a transição do Nível 0 para o Nível 1, a organização desenvolve as primeiras capacidades dinâmicas fundamentais, principalmente regenerativas e renováveis (Nível 0 a Nível 1 - 8 capacidades dinâmicas (3 renovadoras, 5 incrementais)), que estabelecem a base para a adoção do BIM e do LC. Essas capacidades iniciais, como infraestrutura tecnológica adequada, atitudes positivas em relação à mudança e conscientização básica sobre o BIM, são essenciais e continuarão a ser necessárias e aprimoradas nos níveis subsequentes.

Prosseguindo, ao avançar do Nível 1 para o Nível 2, além de manter e fortalecer as capacidades do nível anterior, a organização desenvolve capacidades adicionais, abrangendo aspectos renovadores e incrementais (Nível 1 a Nível 2 - 8 capacidades dinâmicas (3 renovadoras, 5 incrementais)), relacionados a treinamento, experiência prática, definição clara de funções e responsabilidades, e competências técnicas específicas. Nesse ponto, a organização está desenvolvendo sua capacidade de aprendizado rotinizada, acumulando um total de aproximadamente 16 capacidades dinâmicas.

Com a continuação do processo, na transição do Nível 2 para o Nível 3, a organização continua a aprimorar todas as capacidades anteriores e desenvolve capacidades mais avançadas, principalmente regenerativas e renováveis (Nível 2 a Nível 3 - 6 capacidades dinâmicas (4 regenerativas, 2 renovadoras)), como maior consciência e experiência com o BIM, atitudes profissionais mais maduras e gestão de projetos baseada em BIM. Nesse estágio, a organização começa a desenvolver capacidades de aprendizado evolucionário, aproveitando a base sólida estabelecida pelos níveis anteriores e acumulando cerca de 22 capacidades dinâmicas.

Finalmente, progredindo do Nível 3 para o Nível 4, a organização fortalece ainda mais todas as capacidades prévias e desenvolve capacidades de alto nível, abrangendo aspectos regenerativos, renovadores e incrementais (Nível 3 a Nível 4 - 9 capacidades dinâmicas (2 regenerativas, 2 renovadoras, 5 incrementais)), como integração avançada de processos, redução de riscos, conformidade com regulamentos e monitoramento de desempenho. Nesse ponto, a organização está consolidando sua capacidade de aprendizado evolucionário, tornando-se cada vez mais adaptável e inovadora, com um acúmulo de aproximadamente 31 capacidades dinâmicas.

Na transição final do Nível 4 para o Nível 5, a organização atinge o ápice de sua maturidade em BIM, com todas as capacidades anteriores altamente desenvolvidas e integradas. Nesse nível, a organização demonstra capacidades sofisticadas, principalmente regenerativas, renováveis e incrementais (Nível 4 a Nível 5 - 11 capacidades dinâmicas (6 regenerativas, 2 renovadoras, 3 incrementais)), envolvendo cooperação avançada, colaboração multidisciplinar, abordagem sistêmica e gestão do ciclo de vida completo. Essas capacidades representam o mais alto nível de aprendizado evolucionário, permitindo que a organização se mantenha

na vanguarda da inovação e se adapte rapidamente às mudanças, acumulando cerca de 42 capacidades dinâmicas ou mais.

Esta perspectiva de frequência acumulada ressalta a importância de uma abordagem gradual e sustentada para o desenvolvimento de capacidades dinâmicas na implementação bem-sucedida do BIM e do LC. Quanto maior o nível de maturidade, mais capacidades são necessárias e mais sofisticadas elas se tornam, sem que haja perda das capacidades previamente desenvolvidas. Assim, a organização acumula progressivamente um conjunto robusto e diversificado de capacidades dinâmicas, que se reforçam mutuamente e impulsionam a jornada de maturidade do BIM. Uma vez determinado o nível atual de maturidade, é possível elaborar planos de ação para progredir para o próximo estágio, conforme indicado na Tabela 23.

Tabela 23 – Transição entre os Níveis de Maturidade BIM Integrada

Transição	Código do FCS	Fatores Críticos de Sucesso	Capacidades Dinâmicas			Dimensões BIM	Capacidades Acumulativas	Referências
			Regenerativo	Renovador	Incremental			
Nível 0 a Nível 1	F1	Boa atitude em relação às novas tecnologias			x	Tecnológica		Zhao et al. (2022)
	F2	Sistema de rede de Internet estável e rápido			x	Tecnológica		Keung et al. (2021)
	F3	Ferramentas e equipamentos para modelar a realidade			x	Tecnológica		Ramos-Hurtado et al. (2022)
	F4	Software notável favorável para a aplicação de BIM			x	Tecnológica	8 capacidades dinâmicas (3 renovadoras, 5 incrementais)	Hong et al. (2022)
	F5	Disponibilidade de infraestrutura tecnológica			x	Tecnológica		Kassem & Succar (2017)
	F6	Impulso da implementação de LC e integração da entrega de projetos		x		Processos		Olawumi et al.(2018)
	F7	Melhoria do layout e segurança do local		x		Processos		Ning et al.(2019)
	F41	Conscientização e compreensão básica do BIM por parte dos líderes e funcionários		x		Pessoas		Succar (2009)
Nível 1 a Nível 2	F8	Facilitar a formação necessária em BIM			x	Pessoas		Alhamami et al. (2020)
	F9	Existência de um nível de experiência para BIM			x	Pessoas		Akhmetzhanova et al. (2022)
	F10	Funções e responsabilidades bem definidas			x	Pessoas	16 capacidades dinâmicas (acumuladas do nível anterior, mais 3 renovadoras e 5 incrementais)	Guo et al. (2022)
	F11	Educação e formação adequadas			x	Pessoas		Rajabi et al. (2022)
	F12	Disponibilidade de recursos humanos competentes e qualificados			x	Pessoas		Ozorhon & karahan (2017)
	F13	Competência para gerar informações críticas para o estudo		x		Pessoas		Antwi-Afari et al. (2018)
	F14	Capacidade demonstrada nas atividades		x		Pessoas		Zhang et al. (2022)

Nível 2 a Nível 3	F15	Competência técnica do pessoal		x		Pessoas		Chan et al. (2019)
	F16	Maior consciência e nível de experiência dentro da empresa		x		Organização/Estratégia		Olawumi & Chan (2019)
	F17	Altas atitudes profissionais		x		Organização/Estratégia		Solihin et al. (2015)
	F18	Falta de mecanismos de incentivo para a implementação de BIM	x			Organização/Estratégia	22 capacidades dinâmicas	Du et al.(2019)
	F19	Existência de gestão de projetos baseada em BIM e fluxo de trabalho ao longo da cadeia industrial	x			Organização/Estratégia	(acumuladas dos níveis anteriores, mais 4 regenerativas e 2 renovadoras)	Du et al. (2018)
	F20	A sociedade tem um baixo reconhecimento do pessoal de gestão de BIM de nível médio e superior	x			Organização/Estratégia		Tan et al. (2019)
	F21	Existência de talento BIM (por exemplo, existem equipes de gestão de BIM maduras, especialistas em BIM e domínio do software BIM)	x			Organização/Estratégia		Succar (2009)
	F22	Integração da documentação do projeto/preparação da licitação			x	Processos		Olawumi & Chan (2019)
	F23	Redução das reclamações e dos riscos de litígio			x	Processos		Wu et al. (2013)
	F24	Redução do risco de reclamações ou disputas			x	Processos	31 capacidades dinâmicas	Cao et al., (2017)
Nível 3 a Nível 4	F25	Precisão e fiabilidade dos documentos e dados			x	Organização/Estratégia	(acumuladas dos níveis anteriores, mais 2 regenerativas, 2 renovadoras e 5 incrementais)	Antwi-Afari et al. (2018)
	F26	Licitações e regulamentos governamentais		x		Política		Alreshidi et al. (2017)
	F27	Estabelecimento de normas, códigos, regras e regulamentos de BIM e LC		x		Política		Olawumi et al. (2017)
	F28	O limite de responsabilidade legal de BIM não está claro e carece de leis relevantes (como a lei de proteção da propriedade intelectual de BIM e a lei de seguros de BIM)	x			Política		Alreshidi et al. (2018)

Nível 4 a Nível 5	F29	Existe uma incompatibilidade entre as responsabilidades e os riscos das partes envolvidas na implementação de BIM	x		Política		Almarri et al.(2019)
	F42	Medição e acompanhamento do desempenho e dos benefícios obtidos através do uso do BIM		x	Sustentabilidade		Giel & Issa (2013)
	F30	Cooperação de acesso simultâneo dos locais de construção		x	Sustentabilidade		Olawumi et al.(2018)
	F31	Requisitos completos do cliente		x	Organização/Estratégia		Banerjee & Nayaka (2021)
	F32	Fluxo de processo interativo entre as partes envolvidas		x	Processos		Eastman et al. (2011)
	F33	Apoio da alta direção organizacional		x	Organização/Estratégia		Abanda et al. (2015)
	F34	Colaboração em projetos, obras e gestão de engenharia		x	Processos	42 capacidades dinâmicas ou mais (acumuladas dos níveis anteriores, mais 6 regenerativas, 2 renovadoras e 3 incrementais)	Azhar et al.(2012)
	F35	Abordagem sistemática ao longo do projeto	x		Processos		Haddad et al. (2022)
	F36	Entregáveis acordados para o ciclo de vida dos ativos	x		Organização/Estratégia		Alnaggar & Pitt (2019)
	F37	Análise de desempenho preditiva (térmica, energética, ou seja, CO2)	x		Sustentabilidade		Antwi-Afari et al. (2018)
	F38	Todos os interessados não estão suficientemente conscientes de compartilhar as realizações de BIM	x		Sustentabilidade		Elmualim & Gilder (2014)
	F39	Falta de sistemas e instituições de educação BIM sistemáticos	x		Sustentabilidade		Ahmed & Kassem (2018)
	F40	Existe uma forma de gestão de projetos e fluxo de trabalho baseada em BIM ao longo da cadeia industrial	x		Sustentabilidade		Du et al. (2018)
Fonte - Elaborado pelo Autor.							

A DCV, influenciada pela conceituação de TEECE'S (2018), torna-se imperativa para as organizações de construção que navegam pela resistente paisagem tecnológica digital da I4.0. Este estudo reconhece o desafio e enfatiza a necessidade de adaptação estratégica. Para alcançar uma vantagem competitiva, as organizações devem discernir proativamente as oportunidades transformadoras e as ameaças iminentes em seu ambiente (AGHIMIEN *et al.*, 2021).

Em resposta, as organizações de construção se veem obrigadas a realizar transformações comerciais integrais. Isso envolve a digitalização de processos, a reestruturação de unidades internas, a gestão de ativos co-especializados e o estabelecimento de estruturas para o desenvolvimento de conhecimento e uma governança tecnológica eficaz (AGHIMIEN *et al.*, 2021). Um marco consolidado é essencial para esclarecer a intrincada interação dos FCSs para a transformação digital baseada em BIM dentro de dimensões alinhadas.

Neste contexto, a análise bibliométrica e de conteúdo realizada por DÍAZ SCHERY *et al.* (2024) contribui significativamente para elucidar as complexas interações entre os FCS para a transformação digital baseada em BIM na indústria da construção, fundamentando-se na teoria das DCV. A obra de DÍAZ SCHERY também incorpora adaptações que expandem o modelo original ao incluir duas novas dimensões de BIM, proporcionando uma visão ainda mais abrangente e detalhada sobre a aplicação desta tecnologia na indústria da construção. O quadro conceitual resultante, ilustrado na Figura 15, enfatiza a natureza multidimensional e interconectada desses fatores, abrangendo as dimensões tecnológica, pessoas, política, organização/estratégia, sustentabilidade e processos.

Adicionalmente, cada dimensão abrange uma série de FCS que, em sinergia, pavimentam o caminho para uma implementação bem-sucedida de BIM. A dimensão Tecnológica engloba fatores como infraestrutura adequada, software e ferramentas favoráveis para modelagem da realidade. A dimensão de Pessoas enfatiza a formação, a experiência, os papéis bem definidos e os recursos humanos qualificados. A dimensão Legal compreende a integração de documentação, a redução de riscos, a confiabilidade dos dados e o estabelecimento de padrões e regulamentos. A dimensão de Processos abrange a cooperação, os requisitos do cliente, o fluxo interativo e a colaboração. Esta interconexão é visualmente representada na Figura 16, que resume as ideias derivadas da análise realizada por DÍAZ SCHERY *et al.* (2024). A imagem ilustra como esses fatores estão

interconectados e se reforçam mutuamente. Por exemplo, uma infraestrutura tecnológica adequada é essencial para permitir a formação necessária e estabelecer um fluxo de processos interativo entre as partes envolvidas. Portanto, o quadro conceitual apresentado, baseado na teoria DCV, fornece uma visão geral abrangente e sistemática dos FCS para a transformação digital baseada em BIM. Destaca a necessidade de uma abordagem holística e estratégica para a adoção bem-sucedida de BIM, alinhando os FCS com dimensões relevantes e considerando suas interações dinâmicas.

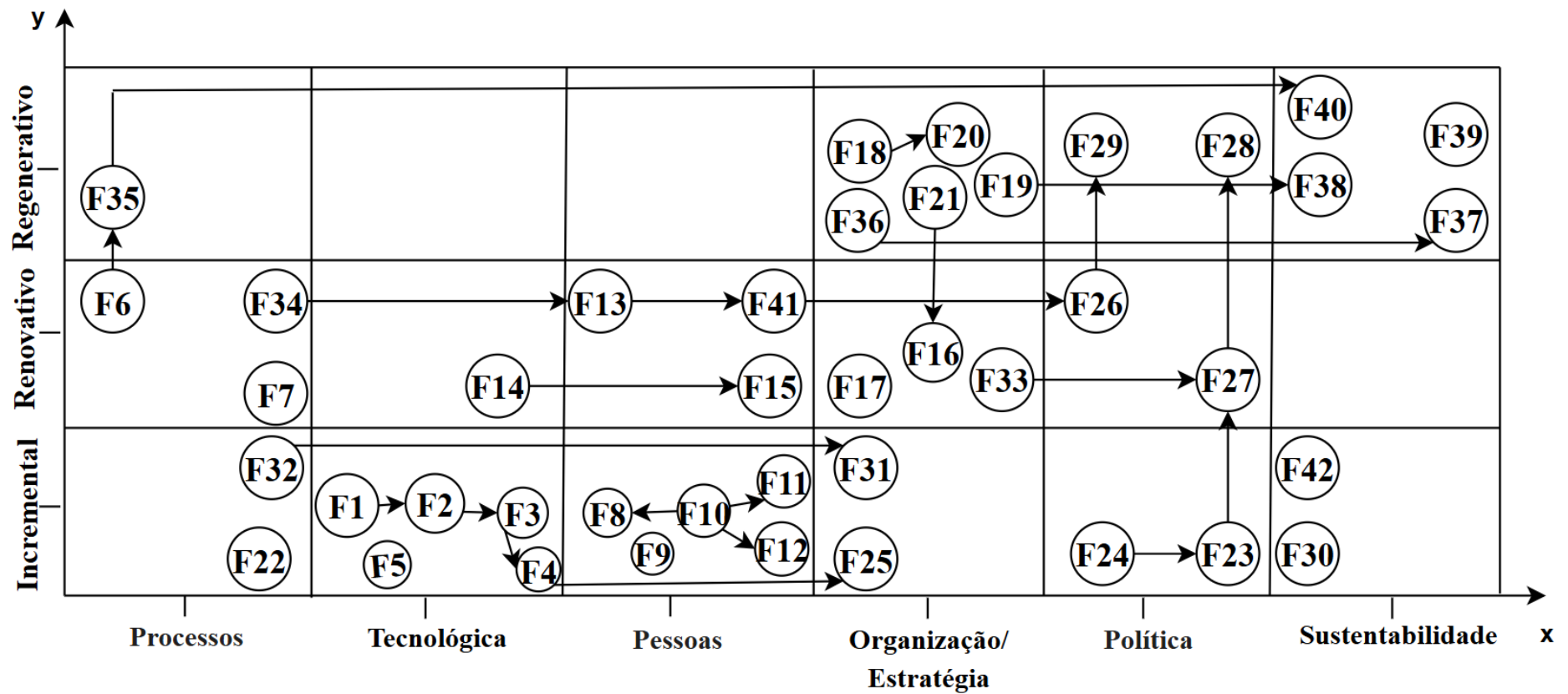


Figura 15 – A estrutura de capacidades dinâmicas da relação entre os FCSs e as dimensões do BIM. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

O desenvolvimento do MMB requer não apenas uma elaboração conceitual detalhada, mas também a definição de passos práticos para sua implementação efetiva em projetos. Esse modelo apresenta uma estrutura evolutiva que progride desde o Nível 0 ("Inexistente") até o Nível 5 ("Otimizado"), passando por estados intermediários como Inicial, Desenvolvimento, Integrado e Gerenciado. Cada transição (T1-T5) é apoiada por 15 indicadores-chave que abrangem aspectos técnicos, operacionais e estratégicos, incluindo planejamento, operação, gestão documental, integração de sistemas e competências.

Para facilitar esse progresso, é fundamental estabelecer diretrizes claras que permitam aos gestores medirem o nível atual de maturidade de seus projetos, identificar deficiências em relação ao estado desejado e adotar estratégias específicas para avançar em cada nível. O modelo avalia seis dimensões fundamentais - Processos, Pessoas, Tecnologia, Organização/Estratégia, Política e Sustentabilidade. Essas dimensões não apenas ajudam a diagnosticar o estado atual, mas também permitem implementar melhorias graduais e mensuráveis que orientam as organizações em direção a níveis superiores de maturidade BIM.

Além disso, a abordagem do MMB foi projetada para integrar seus conceitos com técnicas multicritério de apoio à decisão. Isso facilita uma implementação estruturada de ações específicas, promovendo o progresso contínuo nos níveis de maturidade BIM. Assim, o modelo não apenas alinha a construção sustentável com os princípios da Indústria 4.0, mas também estabelece uma estrutura prática e estratégica para sua adoção efetiva. A Figura 16 resume essas etapas, integrando os conceitos do MMB com uma técnica de apoio à decisão multicritério, oferecendo um guia visual para a implementação estruturada de ações específicas para o progresso contínuo.

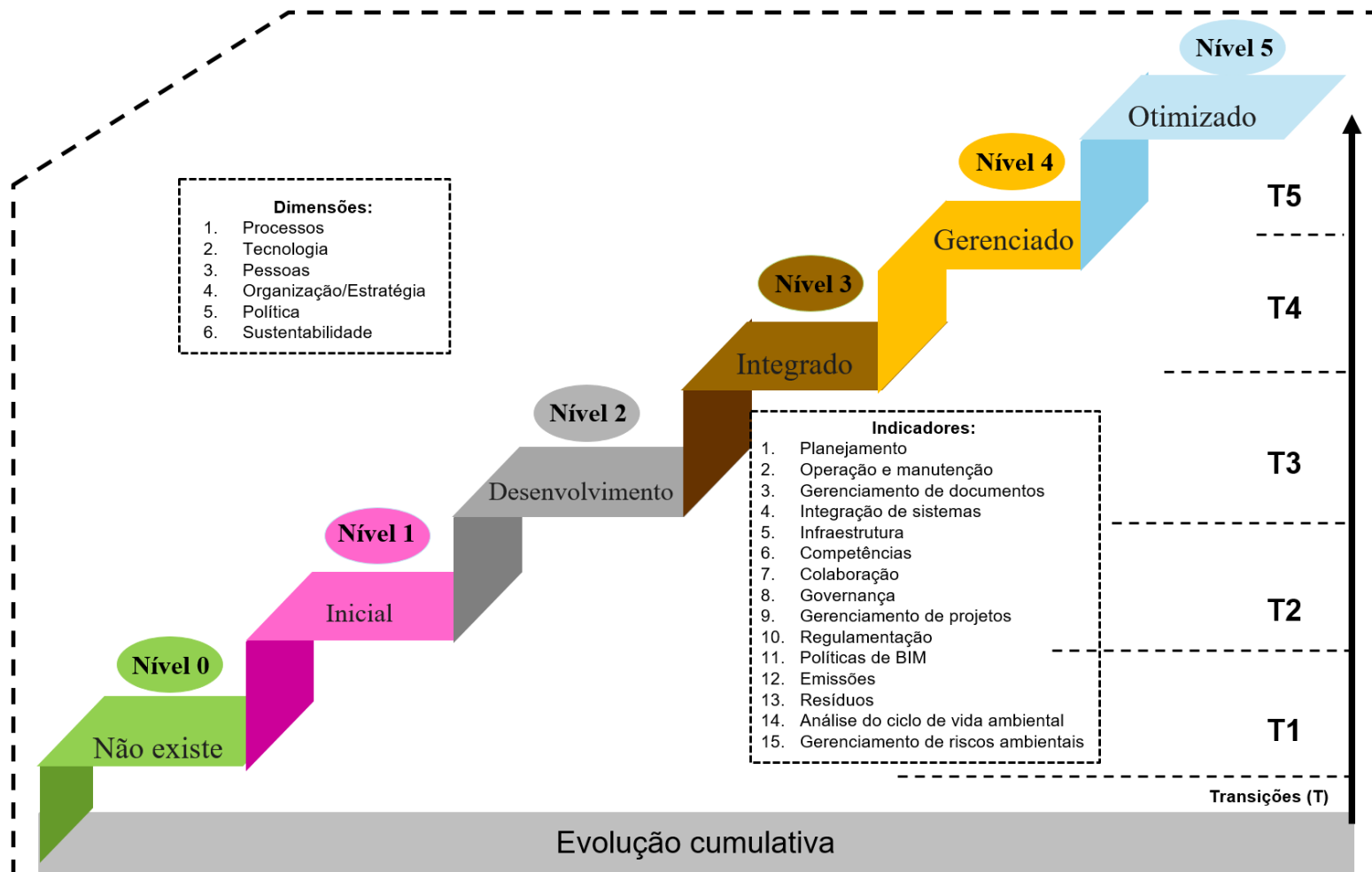


Figura 16 – Modelo de Maturidade BIM aliado à técnica de apoio à decisão multicritério. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

Para incorporar estas características no MMB e estabelecer uma estratégia de transição entre os níveis, é essencial adotar uma abordagem multicritério, alinhada com os indicadores associados às dimensões estabelecidas e focada nos projetos de construção, cuja maturidade será medida. Conforme ilustrado na Figura 17, este processo envolve a definição de critérios de avaliação, a coleta de dados relevantes e a aplicação de técnicas de análise multicritério para auxiliar na tomada de decisões estratégicas. Na seção seguinte, será abordado o MCDM utilizado para avaliar e priorizar as ações necessárias para a transição entre os níveis de maturidade.

Nesse contexto, podemos dividir os estágios da seguinte maneira - o nível 0 corresponde à fase inicial, onde não se utiliza tecnologia digital, nem se consideram aspectos sustentáveis ou colaboração em projetos BIM. Os níveis 1 e 2 representam a fase pré-Indústria 4.0 e sustentabilidade, caracterizada por um uso limitado de tecnologias digitais e uma escassa implementação de práticas sustentáveis. Nestes níveis, a estratégia de transição se concentra em desenvolver uma atitude positiva em relação às novas tecnologias, melhorar a infraestrutura tecnológica, adquirir ferramentas e softwares adequados e fomentar a formação e experiência em BIM. Ao avançar para os níveis 3 e 4, adentra-se a fase da Indústria 4.0 e da sustentabilidade, onde o uso intensivo de tecnologias digitais e a integração em projetos BIM se tornam fundamentais. Nestes níveis, busca-se otimizar os processos, melhorar a eficiência e reduzir o impacto ambiental mediante a aplicação de princípios sustentáveis em todas as etapas do projeto. A estratégia de transição se concentra em aumentar a consciência e experiência dentro da empresa, fomentar altas atitudes profissionais, estabelecer uma gestão de projetos baseada em BIM, desenvolver talentos em BIM e abordar a falta de mecanismos de incentivo e a incompatibilidade entre responsabilidades e riscos.

Por fim, o nível 5 representa o grau máximo de maturidade, com uma alta influência de tecnologias da I4.0 e princípios da sustentabilidade. Neste nível, as interações em projetos BIM são empregadas estrategicamente para maximizar a eficiência, minimizar o impacto ambiental e promover uma colaboração fluida e efetiva entre todos os atores envolvidos no ciclo de vida do projeto, desde sua concepção até sua operação e manutenção. A estratégia para alcançar este nível se baseia em fomentar a cooperação e o acesso simultâneo aos locais de construção, cumprir os requisitos do cliente, estabelecer um fluxo de processos interativo, obter o apoio da alta direção e desenvolver sistemas e instituições de educação em BIM sistemáticos.

A transição entre níveis representa um processo complexo e multidimensional, no qual a integração de tecnologias avançadas, princípios de sustentabilidade e abordagens colaborativas convergem para criar um ecossistema BIM robusto e eficiente. Cada nível constitui um marco no caminho para a excelência, onde os desafios se transformam em oportunidades de melhoria e as limitações em catalisadores para a inovação. Mediante a implementação de uma estratégia bem definida e um compromisso sustentado, as organizações podem embarcar nesta transformação sistêmica, adotando a mudança e configurando um futuro mais promissor e sustentável no âmbito da construção.

4.2

Proposição de modelo de apoio à decisão para medir a maturidade em BIM

A abordagem MCDM/A está ganhando rapidamente espaço devido à sua capacidade de facilitar um processo de tomada de decisão mais transparente, lógico e eficaz em comparação com os métodos convencionais. Essa abordagem permite que os tomadores de decisão considerem simultaneamente múltiplos critérios e alternativas, resultando em decisões mais informadas e equilibradas.(RABIEE *et al.*, 2021).

A aplicação de técnicas de suporte à tomada de decisões multicritério abrange uma variedade de contextos nos quais várias alternativas devem ser avaliadas de acordo com vários critérios qualitativos e quantitativos (BAUDRY *et al.*, 2018). No campo da análise multicritério, é fundamental estabelecer objetivos específicos e identificar os atributos ou indicadores relacionados. A medição desses indicadores não se limita a valores monetários, muitas vezes baseia-se em pontuações, classificações e ponderações de várias categorias e critérios de impacto qualitativo (DEAN, 2020).

4.2.1 Análise Comparativa e Seleção do Método MCDM

Ao formular um problema de decisão multicritério, uma multiplicidade de métodos pode ser empregada. Ao analisar a natureza de um problema multicritério, destaca-se a abordagem proposta por ROY (1996), a qual enfatiza que as características

essenciais são delineadas pelos resultados desejados para serem alcançados. Destacam-se quatro abordagens de referência, conforme apresentado na tabela 24 abaixo -

Tabela 24 – Perspectivas de benchmarking para a tomada de decisões

A perspectiva de seleção (P. α)	Concentrada na identificação da ação "melhor", essa abordagem busca destacar a opção mais vantajosa em um determinado contexto.
Desafios relacionados à classificação (P. β) -	A questão se refere à alocação de ações em categorias previamente definidas.
Problema de ordenação (P. γ) -	Fornecer um ranking das ações potenciais.
Problema de delineamento (P. δ) -	o problema é apresentado com o objetivo de descrever as ações.

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Em contraste, as abordagens multicritério permitem uma categorização baseada no método de compensação entre critérios, Tabela 25, que segue duas lógicas fundamentais - técnicas compensatórias e não compensatórias (ROY, 1996). As técnicas compensatórias buscam equilibrar um resultado inferior de uma opção em um critério específico por meio de um desempenho superior em outro critério. Por outro lado, nas abordagens não compensatórias, não há esse equilíbrio cruzado entre critérios (DE ALMEIDA *et al.*, 2015).

Tabela 25 – Análise das Capacidades de Classificação dos Métodos MCDM para Avaliação de Maturidade BIM

Método	Classificação	Determinação de Pesos	Base Estatística	Manejo de Incertezas
ELECTRE TRI-NC	Grau de dominância ou prevalência	Pode usar diversos métodos	Sim	Parcial
Fuzzy ELECTRE	Grau de dominância ou prevalência	Requer entrada especializada	Sim	Sim
AHP	Métodos de comparação pareada	Comparação pareada	Limitada	Não
Fuzzy TOPSIS	Métodos baseados em distância	Requer entrada especializada	Sim	Sim
AHP-TOPSIS	Métodos de comparação pareada + Métodos baseados em distância	Híbrido	Parcial	Não
FAHP-FANP	Métodos de comparação pareada	Híbrido complexo	Limitada	Sim
FPLM-AHP-VIKOR	Métodos baseados em distância	Híbrido complexo	Parcial	Sim
DEMATEL	Métodos de ranking	Baseado em relações	Sim	Não
PROMETHEE Fuzzy	Métodos de ranking	Requer entrada especializada	Parcial	Sim
ANP	Métodos de comparação pareada	Red de relaciones	Limitada	Não
WASPAS	Otimização da média	Ponderação simples	Sim	Não
ELECTRE I	Grau de dominância ou prevalência	Pode usar diversos métodos	Sim	Não

EW-TOPSIS	Ponderação de entropia + Métodos baseados em distância	Entropia	Sim	Não
Entropia-FAHP	Ponderação de entropia+ Métodos de comparação pareada	Híbrido com entropia	Sim	Sim

Fonte - Elaborado pelo Autor.

4.2.2 Justificativa da Seleção do Método ELECTRE TRI-nC com Entropia

Após a análise comparativa detalhada dos diferentes métodos MCDM, o ELECTRE TRI-nC com entropia emerge como a escolha mais adequada para este estudo pelos aspectos fundamentais descritos a seguir.

A família de métodos ELECTRE, iniciada por Bernard Roy em 1968, marcou um ponto de inflexão na tomada de decisão multicritério ao introduzir os conceitos de concordância e discordância para modelar preferências (ROY, 1968). Sua evolução sistemática incluiu desenvolvimentos significativos como ELECTRE II e III, que refinaram o processo de ranking e a incorporação de limiares difusos (ROY, 1978; ROY; BERTIER, 1973). Um avanço crucial foi o ELECTRE TRI (YU, 1992), que estabeleceu um marco robusto para a classificação ordenada através de perfis de referência e limiares de preferência (p), indiferença (q) e veto (v). A inovação mais recente, ELECTRE TRI-NC (ALMEIDA-DIAS *et al.*, 2012), otimizou a abordagem não compensatória, melhorando o tratamento de inconsistências e a flexibilidade na classificação através da introdução de perfis característicos centrais, adaptando-se assim a contextos onde a compensação entre critérios deve ser limitada.

O método ELECTRE TRI-nC se destaca por sua capacidade única de classificação ordenada, sendo especialmente valioso para problemas que requerem categorizar alternativas em classes predefinidas, como a avaliação de maturidade BIM em organizações. Sua robustez metodológica fundamenta-se em sólidos princípios matemáticos e estatísticos, incorporando relações de sobreclassificação que gerenciam eficientemente a imprecisão e a incerteza dos dados.

Uma característica distintiva é sua integração com o método de entropia para a determinação de pesos, o que proporciona uma abordagem objetiva e matematicamente fundamentada, eliminando assim a subjetividade inerente a outros métodos como AHP ou avaliações puramente especializadas.

A incorporação de um sistema de inferência fuzzy fortalece significativamente a proposta metodológica, permitindo um tratamento mais sofisticado da incerteza e da ambiguidade inerentes à avaliação de maturidade BIM. Este sistema fuzzy trabalha em sinergia com os limiares de preferência, indiferença e veto do ELECTRE TRI-nC, criando um marco de avaliação mais robusto e adaptável às complexidades do mundo real.

A combinação inovadora do ELECTRE TRI-nC com a entropia e o sistema fuzzy resulta em uma ferramenta metodológica integral que não apenas garante uma classificação consistente e reproduzível de organizações em diferentes níveis de maturidade BIM, mas também proporciona um tratamento mais nuançado e preciso da incerteza no processo de avaliação.

4.2.3 Ferramenta de apoio à decisão escolhida

A problemática da escolha, como definido anteriormente, concentra-se na seleção da melhor ou das melhores alternativas dentro da abordagem MCDM/A, realizada por meio da comparação de múltiplos critérios, como ELECTRE TRI e lógica difusa. A escolha do método MCDM/A é condicionada por fatores como a análise da estrutura de preferências e considerações organizacionais ou do contexto do problema, como limitações de tempo ou as preferências do analista (DE ALMEIDA, 2013). No contexto deste estudo, especificamente para a etapa de escolha de MMB, opta-se pelo método definido anteriormente, abordando de maneira destacada o método ELECTRE TRI-nC no próximo tópico.

4.2.3.1 Electre TRI-nC

A metodologia ELECTRE TRI-nC, proposta como um método de classificação multicritério que leva em consideração diversas ações de referência para caracterizar cada categoria (ALMEIDA-DIAS *et al.*, 2012), requer um ordenamento completo predefinido das categorias para atribuição das ações. Cada categoria deve ser descrita por diversas ações de referência consideradas representativas ou informativas pelo tomador de decisões, seguindo uma construção interativa entre o analista e o tomador de decisões. Quando uma categoria é definida por apenas uma ação de referência, o método equivale ao ELECTRE TRI-C (ALMEIDA-DIAS *et al.*, 2010).

Nos últimos anos, várias aplicações foram exploradas, incluindo a avaliação da resiliência em cadeias de suprimentos e estratégias na avaliação de fornecedores (COSTA *et al.*, 2018b), o desempenho dos serviços de fornecimento de água (PINTO *et al.*, 2017), e a análise da intervenção política nacional na União Europeia para a transição para veículos elétricos (MARTINS *et al.*, 2023).

Posteriormente, foram detalhados os conceitos-chave, definições fundamentais e notações essenciais relacionados ao método ELECTRE TRI-nC, adaptados a partir das fontes (ALMEIDA-DIAS *et al.*, 2012), proporcionando uma base conceitual robusta para a compreensão do método.

Deixe $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots\}$ denotar o conjunto de ações. Essas ações podem ser conhecidas previamente ou podem surgir durante o processo de auxílio à decisão. O principal objetivo do método é atribuir essas ações a um conjunto de categorias $C = \{C_1, C_2, \dots, C_h, \dots, C_q\}$ com $q \gg 2$ (com $q = 1$ não há ordenação de problema). É fundamental que o conjunto de categorias esteja totalmente ordenado, de modo que C_1 represente a categoria de menor qualidade e C_q a de maior qualidade. Para avaliar qualquer ação, é definido um conjunto de critérios $G = \{g_1, g_2, \dots, g_h, \dots, g_q\}$. A expressão $g_j(a_i)$ indica o desempenho da ação a_i no critério g_j .

No que se segue, suponhamos, sem perda de generalidade, que todos os critérios $g_j \in G$ devem ser maximizados, o que implica que a preferência aumenta à medida que o desempenho do critério também aumenta. Devido à natureza imperfeita dos dados e à arbitrariedade que afeta a definição dos critérios, associamos dois limiares a g_j - um limiar de indiferença, q_j , e um limiar de preferência, p_j . Também pode ser associado um limiar de veto, v_j , de modo que $v_j > p_j > q_j > 0$. Com base na definição desses limites, as seguintes relações entre duas ações, a e $\acute{a}$, são derivadas, conforme ilustrado na Tabela 26 seguinte -

Tabela 26 – Definição de Limites para as Relações entre Ações

1	$ g_j(a) - g_j(\acute{a}) \leq q_j$	Representa uma vantagem não significativa de uma das duas ações sobre a outra, o que significa que a é indiferente a $\acute{a}$ de acordo com g_j , denotado por $aI_j\acute{a}$.
2	$g_j(a) - g_j(\acute{a}) > p_j$	Representa uma vantagem significativa de a sobre $\acute{a}$, o que significa que a é preferido a $\acute{a}$ de acordo com g_j , denotado por $aP_j\acute{a}$.

- 3 $q_j < g_j(a) - g_j(\acute{a}) \leq p_j$ Representa uma zona de ambiguidade - a vantagem de a sobre $\acute{a}$ é suficiente para não ter indiferença, mas não é suficiente para concluir sobre uma preferência a favor de a , significando que a é fracamente preferido a $\acute{a}$, denotado por $aQ_j\acute{a}$.

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Para quantificar as relações entre duas ações, a e $\acute{a}$, de acordo com um critério g_j , é definido um índice parcial de concordância, denominado $c_j(a, \acute{a})$, da seguinte maneira -

$$c_j(a, \acute{a}) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) - g_j(\acute{a}) \geq -q_j, \\ \frac{g_j(a) - g_j(\acute{a}) + p_j}{p_j - q_j} & \text{se } -p_j \leq g_j(a) - g_j(\acute{a}) \leq -q_j, \\ 0 & \text{se } g_j(a) - g_j(\acute{a}) < -p_j \end{cases} \quad (1)$$

E uma definição semelhante do índice de discordância parcial, denotado por $d_j(a, \acute{a})$, é definida da seguinte forma -

$$d_j(a, \acute{a}) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) - g_j(\acute{a}) \geq -p_j, \\ \frac{g_j(a) - g_j(\acute{a}) + p_j}{p_j - v_j} & \text{se } -v_j \leq g_j(a) - g_j(\acute{a}) \leq -p_j, \\ 0 & \text{se } g_j(a) - g_j(\acute{a}) < -v_j \end{cases} \quad (2)$$

De acordo com as Equações 1 e 2, esses índices parciais pertencem ao intervalo $[0,1]$. Uma representação gráfica é exibida na Figura 17.

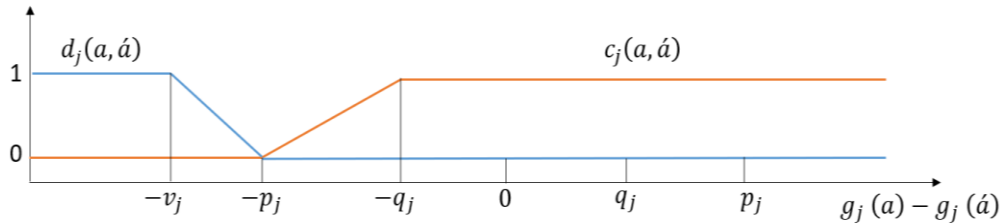


Figura 17 – Índices de discordância parcial e de concordância com base em um critério.

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Um peso de critério, representado por w_j onde $w_j > 0$, está associado a cada critério. Suponha, sem perda de generalidade, que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Portanto, o índice global de concordância, representado por $c_j(a, \acute{a})$, é definido da seguinte forma -

$$c_j(a, \acute{a}) = \sum_{j=1}^n w_j c_j(a, \acute{a}) \quad (3)$$

Finalmente, o índice de credibilidade, denotado por $\sigma(a, \acute{a})$, que quantifica a relação entre a e $\acute{a}$ levando em consideração todos os critérios de G , é definido da seguinte forma -

$$\sigma(a, \acute{a}) = c(a, \acute{a}) \prod_{j=1}^n T_j(a, \acute{a}), \quad (4)$$

onde

$$T_j(a, \acute{a}) = \begin{cases} \frac{1-d_j(a, \acute{a})}{1-c_j(a, \acute{a})} & \text{se } d_j(a, \acute{a}) > c_j(a, \acute{a}), \\ 1 & \end{cases} \quad (5)$$

Deixe $B = \{B_1, B_2, \dots, B_h, \dots, B_q\}$ denotar o conjunto de subconjuntos de ações de referência. Cada subconjunto de ações de referência para caracterizar a categoria C_h é definido como $B_h = \{b_h^r, r = 1, \dots, m_h\}$, tal que $m_h > 1$. O conjunto $B \cup \{B_0, B_{q+1}\}$ denota o conjunto de todas as ações de referência, onde $B_0 = \{b_0^1\}$ e $B_{q+1} = \{b_{q+1}^1\}$ contêm duas ações de referência definidas da seguinte forma - $g_j(b_0^1)$ é o pior desempenho possível no critério g_j e $g_j(b_{q+1}^1)$ é o melhor desempenho possível no critério g_j para todos os $g_j \in G$. Usando essa definição, para qualquer ação e critério, verifica-se a relação $g_j(b_0^1) < g_j(a) < g_j(b_{q+1}^1)$.

A comparação de uma ação a com as ações de referência características b_h^r fornece m_h índices de credibilidade $\sigma(a, b_h^r)$ e m_h índices de credibilidade $\sigma(b_h^r, a)$, calculados de acordo com a Equação 4. A fim de encontrar um índice de credibilidade representativo para cada ação a em relação a cada subconjunto de ações de referência B_h , um índice categórico é definido da seguinte forma -

$$\begin{aligned} \sigma(a, B_h) &= \max_{r=1, \dots, m_h} \sigma(a, b_h^r), \\ \sigma(B_h, a) &= \max_{r=1, \dots, m_h} \sigma(b_h^r, a), \end{aligned} \quad (6)$$

Deixe λ denotar um nível de credibilidade como o grau mínimo de credibilidade, considerado necessário pelo decisor para aceitar (ou não) a afirmação de a supera B_h , levando em conta todos os critérios de G . Normalmente, $\lambda \in [0.5, 1]$.

As operações de atribuição concentram-se em comparar cada índice categórico com o respectivo nível de credibilidade mencionado, fornecendo uma análise detalhada dessas atribuições. Essas operações seguem duas regras específicas que devem ser utilizadas em conjunto. Para aplicar ambas as regras, escolhe-se um nível de credibilidade e utiliza-se uma função de seleção, denotada como $\rho(a, B_h)$, para decidir entre duas categorias consecutivas. Devido ao papel desempenhado por esta função, ela deve atender às seguintes propriedades -

1. $\rho(a, B_h)$ é uma função de $\sigma(a, B_h)$ e $\sigma(B_h, a)$
2. A condição escolhida para selecionar a categoria C_h em vez de C_{h+1} (que depende de uma das duas regras onde a pré-seleção é feita) deve ser significativa, como $\rho(a, B_h) > \rho(a, B_{h+1})$.

3. Sejam a e $\acute{a}$ duas ações que permitem pré-selecionar a mesma categoria. Se a domina estritamente $\acute{a}$, então $\rho(a, B_h) > \rho(a, B_{h+1}) \Rightarrow \rho(\acute{a}, B_h) > \rho(\acute{a}, B_{h+1})$. Com base nessas propriedades, a função de seleção pode ser definida da seguinte forma -

$$\rho(a, B_h) = \min\{\sigma(a, B_h), \sigma(B_h, a)\} \quad (7)$$

(Regra Descendente). Diminua h de B_h de $q + 1$ até o primeiro valor, t , tal que $\sigma(a, B_t) \geq \lambda$ (C_t é a categoria pré-selecionada na descida) -

1. Para $t = q$, selecione C_q como uma possível categoria para atribuir a ação a .
2. (ii) Para $0 < t < q$, se $\rho(a, B_t) > \rho(a, B_{t+1})$, selecione C_t como uma possível categoria para atribuir a , caso contrário, selecione C_{t+1} .
3. Para $t = 0$, selecione C_1 como uma possível categoria para atribuir a .

(Regra Ascendente). Aumente h de B_h de zero até o primeiro valor, k , tal que $\sigma(B_k, a) \geq \lambda$ (C_k é a categoria pré-selecionada na ascensão) -

1. Para $k = 1$, selecione C_1 como uma possível categoria para atribuir a ação a .
2. Para $1 < k < (q + 1)$, se $\rho(a, B_k) > \rho(a, B_{k-1})$, selecione C_k como uma possível categoria para atribuir a , caso contrário, selecione C_{k+1} .
3. Para $k = (q + 1)$, selecione C_q como uma possível categoria para atribuir a .

Os procedimentos de atribuição resultam na seleção de duas categorias possíveis às quais uma ação pode ser atribuída, utilizando as regras descendentes e ascendentes em conjunto. Assim, o método ELECTRE TRI-nC oferece como possíveis atribuições de uma ação -

1. Uma categoria, quando as duas categorias selecionadas são idênticas.
2. Duas categorias, quando as categorias escolhidas são consecutivas.
3. Uma gama de categorias, delimitada pelas duas categorias selecionadas quando não são consecutivas.

Para representar de forma adequada o processo metodológico, foi realizada uma adaptação do diagrama de fluxo proposto inicialmente por COSTA *et al.* (2018a) e mostrado na Figura 18. Esse diagrama compreende três etapas principais interconectadas - entrada de dados e parâmetros, cálculos e procedimentos de processamento, e geração de resultados de saída com a atribuição correspondente.

A etapa de entrada envolve dois componentes chaves - os próprios dados, conformados pelo conjunto de ações, critérios e desempenho (tabela de desempenho); e os parâmetros de preferência escolhidos pelo decisor, incluindo ações de referência, pesos dos critérios, limiares e nível de credibilidade. A etapa de processamento executa procedimentos estatísticos e algorítmicos sobre os dados para produzir os resultados desejados. Por fim, na saída são gerados os resultados da atribuição mediante a aplicação de regras ascendentes e descendentes, permitindo assim categorizar ações segundo seu desempenho sobre os critérios.

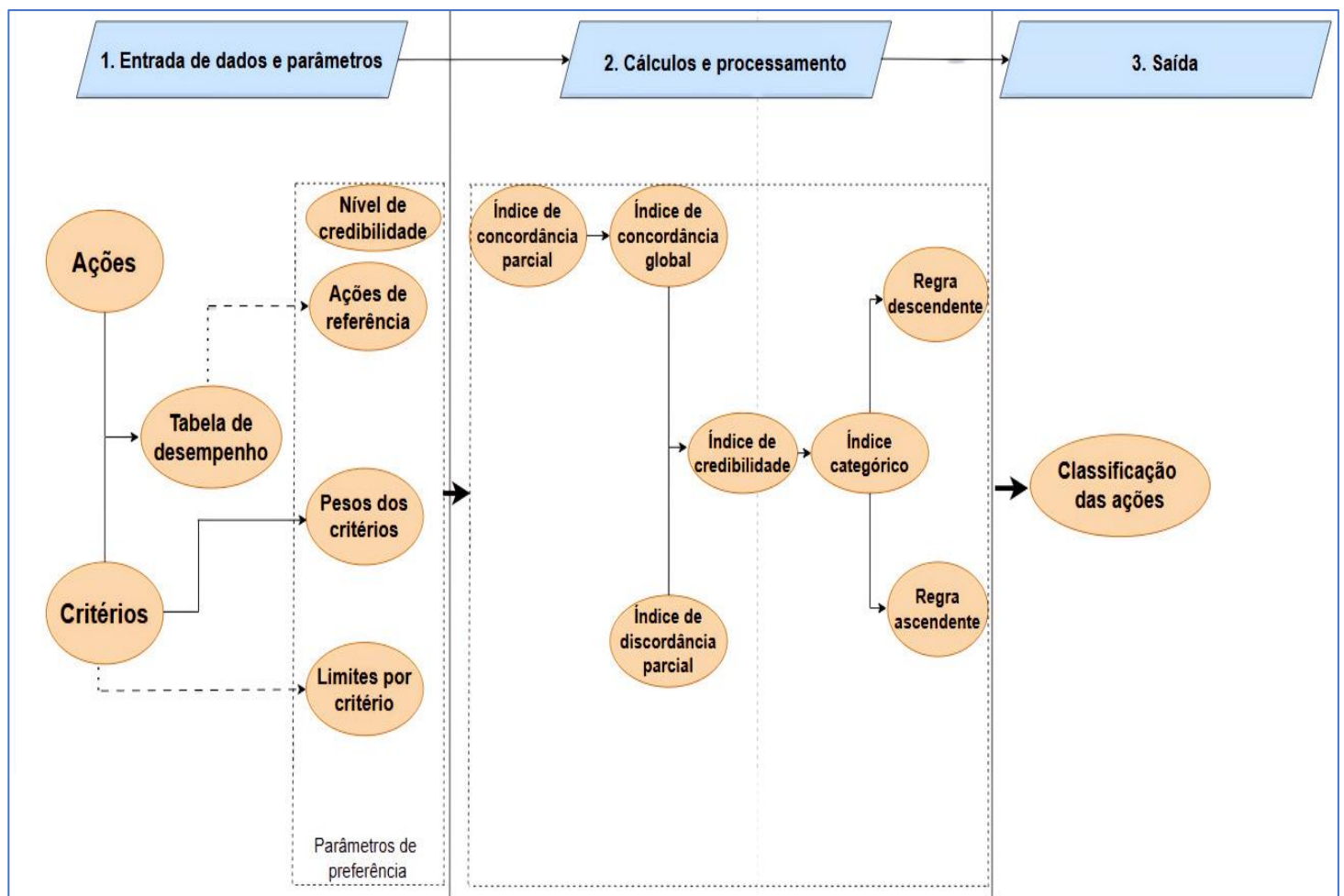


Figura 18 – Fluxograma do método ELECTRE TRI-nC. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

4.2.3.2 Pesos e Normalização

O processo de normalização e determinação de pesos requer uma série de transformações matemáticas precisas que permitem lidar com a incerteza inerente às avaliações subjetivas. Este processo se desenvolve através dos seguintes passos sequenciais -

1. Construção da matriz de decisão inicial com as avaliações dos especialistas.
2. Normalização da matriz de decisão, descritas pela equação (7) -

$$P_{ki} = \frac{x_{ki}}{\sum_{k=1}^K x_{ki}} \quad (7)$$

3. Cálculo da entropia de informação para cada critério, descritas pela equação (8)

-

$$E_i = -[ln]^{-1} \sum_{k=1}^K P_{ki} \ln P_{ki} \quad (8)$$

Onde K é o número de grupos de especialistas.

4. Determinação dos pesos finais dos critérios, pela equação (9) -

$$w_i = \frac{(1-E_i)}{(m-\sum_{i=1}^m E_i)} \quad (9)$$

Onde m é o número total de critérios, onde $0 \leq w_i \leq 1$ e $\sum_{i=1}^m w_i = 1$.

Esta abordagem permite incorporar às avaliações dos especialistas, fornecendo uma base mais robusta para a priorização dos indicadores e item.

4.2.3.3 Teoria Fuzzy e Entropia de Shannon

A teoria fuzzy, introduzida pela primeira vez por ZADEH (1965), tem sido aplicada em várias aplicações de engenharia para lidar com informações imprecisas (KLIR; YUAN, 1995). Esta teoria tem se mostrado particularmente valiosa no contexto das avaliações subjetivas e tomada de decisão em grupo (DE ALMEIDA *et al.*, 2016), permitindo medir as nuances linguísticas dos dados e superar as limitações dos valores binários tradicionais (KLIR; FOLGER, 1987).

A integração da teoria fuzzy com a entropia de Shannon tem gerado avanços significativos no tratamento da incerteza. A entropia, conceito originalmente proveniente da termodinâmica, foi adaptada por Claude Shannon para os sistemas de informação, tornando-se uma medida fundamental da incerteza (SHANNON, 2001). Uma dessas extensões é a integração da teoria fuzzy com o conceito de entropia de Shannon, resultando na chamada entropia fuzzy de Shannon. A combinação de ambas as teorias resultou na entropia fuzzy de Shannon, que proporciona um framework mais robusto para a análise de decisões multicritério.

4.2.3.4 Sistemas de Inferência Fuzzy

As aplicações da teoria fuzzy têm se expandido consideravelmente, abrangendo campos como ciências ambientais, hidrologia, recursos hídricos e a indústria da construção (CHENG *et al.*, 2002; ZHANG *et al.*, 2021). Um elemento crucial nestas

aplicações é o Sistema de Inferência (IS) é conhecido por vários nomes, como 'sistemas baseados em regras', 'sistemas especialistas', 'modelagem', 'controladores lógicos' e simplesmente 'sistemas'. Os três tipos principais de IS são - Sugeno, Mamdani e Tsukamoto (DIJKMAN *et al.*, 1983; MENDEL, 1995).

O método Mandani, introduzido por Ebrahim Mamdani em 1975, estabeleceu-se como uma das abordagens mais influentes na lógica fuzzy, principalmente devido à sua capacidade de modelar o raciocínio humano e sua interpretabilidade intuitiva (ROSS, 2005). Uma das suas principais vantagens é o processo de geração de regras linguísticas do tipo SE-ENTÃO, que permite incorporar diretamente o conhecimento especialista no sistema, facilitando tanto a implementação quanto a manutenção do controlador fuzzy (ZIMMERMANN, 2011). A combinação dessas regras através do operador de agregação máximo possibilita uma representação mais natural e compreensível das relações entre as variáveis de entrada e saída, especialmente quando comparado a outros métodos como Sugeno ou Tsukamoto (LEE, 1990).

O processo de inferência Mandani, que utiliza o operador mínimo para a implicação fuzzy e o método do centroide para defuzzificação, demonstra propriedades matemáticas robustas, como a continuidade da superfície de controle e a capacidade de aproximação universal, permitindo modelar sistemas não-lineares complexos com alta precisão (WANG e MENDEL, 1992). Sua flexibilidade na definição das funções de pertinência e a capacidade de lidar com múltiplas entradas e saídas o tornam particularmente adequado para aplicações em controle de processos industriais e sistemas de suporte à decisão, onde a transparência do raciocínio é tão importante quanto a precisão dos resultados (PEDRYCZ e GOMIDE, 2007).

Neste contexto, um conjunto confuso $\tilde{A}$ em X é caracterizado por uma função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$ usado para mapear um item em um intervalo $[0,1]$, que pode ser associado a termos linguísticos (LEE *et al.*, 2008), e geralmente é denotado pelo conjunto de pares -

$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)), x \in X\}$. Contudo, os valores de pertinência precisos geralmente não são encontrados, e os conjuntos vagos gerais são raramente utilizados na prática (CHANG *et al.*, 2000).

Na prática, os números fuzzy triangulares (TFN) são amplamente utilizados devido à sua simplicidade e efetividade (VAN LAARHOVEN e PEDRYCZ, 1983). Um

TFN, designado como $A = (l, m, u)$, e sua função de associação são descritas pela equação (6) e ilustradas pela Figura 19, tem a seguinte função de pertinência do tipo triangular (VAN LAARHOVEN e PEDRYCZ, 1983).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, x \leq l \text{ ou } x \geq u \\ \frac{(x-l)}{(m-l)}, l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, m \leq x \leq u \end{cases} \quad (6)$$

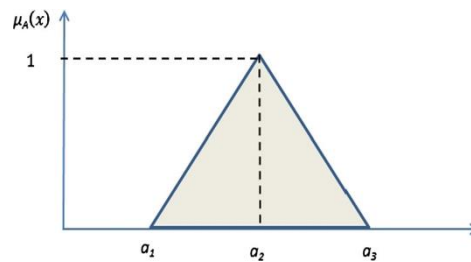


Figura 19 – Função de associação de um número fuzzy triangular.

Fonte - DE CARVALHO *et al.*(2016).

onde l e u representam os limites inferior e superior do número difuso e m é o valor mediano. Geralmente, o procedimento do modelo de raciocínio fuzzy ocorre em três fases distintas. Inicialmente, há uma etapa de tornar "fuzzy", na qual dados de entrada precisos (sejam termos numéricos ou linguísticos com significados claros, sem incertezas ou imprecisões) são convertidos em conjuntos fuzzy (ZIMMERMANN, 2011). A segunda fase é a etapa de dedução, na qual são utilizadas regras fuzzy para combinar dados de entrada por meio de operadores e regras fuzzy, gerando assim resultados de saída fuzzy. A etapa final é a defuzzificação, que envolve a transformação dos resultados fuzzy em resultados claros, de modo a serem apresentados aos responsáveis pela tomada de decisão.

4.3

Aplicação do modelo de maturidade BIM com apoio à decisão multicritério em projetos de construção no Brasil

Esta seção apresenta oito casos de estudo de projetos de construção no Brasil para demonstrar a aplicação do método ELECTRE TRI-nC na avaliação do desempenho e maturidade da implementação da metodologia BIM. Os projetos selecionados para análise abrangem uma diversa gama de tipologias construtivas, incluindo edificações públicas (Projeto 1), hospitais e unidades de pronto atendimento (Projeto 2), equipamento esportivo (Projeto 3), empreendimento habitacional

(Projeto 4), infraestrutura aeroportuária (Projeto 5), complexo industrial (Projeto 6), obra de arte especial (Projeto 7) e empreendimento comercial (Projeto 8), representando assim um amplo espectro do setor da construção civil brasileira.

Esta seção apresenta a aplicação do MMB com apoio do método ELECTRE TRI-nC em oito casos de estudo representativos do setor da construção civil brasileira. O desenvolvimento da análise está estruturado metodologicamente para fornecer uma avaliação abrangente - primeiro, contextualiza-se o cenário da construção civil no Brasil e a implementação do BIM, estabelecendo as bases para compreensão do ambiente em que os projetos se desenvolvem; em seguida, apresenta-se a metodologia de avaliação de desempenho em projetos BIM, fundamentando a aplicação do método ELECTRE TRI-nC nos casos selecionados.

4.3.1 Contextos da indústria da construção no Brasil e adoção do BIM

A indústria da construção no Brasil tem passado por uma transformação significativa nas últimas décadas, impulsionada pela adoção de novas tecnologias e metodologias que melhoram a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade dos projetos. Uma das inovações mais destacadas tem sido a implementação da metodologia BIM (Building Information Modeling), que permite a criação de modelos digitais integrados dos edifícios, facilitando a colaboração entre os diferentes atores envolvidos e otimizando os processos de design, construção e operação.

Nesse contexto, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) tem desempenhado um papel crucial na promoção e expansão do uso do BIM no país. Por meio da Plataforma BIMBR e diversas iniciativas de capacitação e sensibilização, a ABDI tem trabalhado para padronizar e melhorar a adoção do BIM em diferentes regiões. Essas iniciativas incluem roadshows e colaborações com entidades como o BIM Fórum Brasil, que têm promovido a criação de ecossistemas regionais e a participação de gestores públicos e acadêmicos na adoção do BIM.

O marco regulatório também evoluiu para apoiar essa transformação. A Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos (Lei Federal nº 14.133) e o Decreto nº 10.306/2020, conhecido como o "decreto BIM", estabeleceram o uso obrigatório e gradual da metodologia BIM para a execução de obras e serviços de engenharia realizados, direta ou indiretamente, pelos órgãos e entidades da administração pública federal. Essas regulamentações buscam melhorar as práticas de criação de

projetos e a execução de obras públicas, tornando os projetos mais eficientes e contribuindo para a criação de espaços públicos mais inteligentes, resilientes e acessíveis.

Apesar de a metodologia BIM já ser utilizada no setor privado, sua adoção no setor público é relativamente recente e enfrenta desafios relacionados aos custos de implementação. No entanto, existe um interesse crescente em adotar o BIM, dada sua capacidade de melhorar a eficiência e a qualidade dos projetos de construção. Para avaliar o nível de adoção e o desempenho da metodologia BIM nos projetos de construção, foram desenvolvidos diversos MMB. Esses modelos permitem identificar os pontos fortes e fracos dos processos BIM, bem como estabelecer estratégias para alcançar níveis superiores de maturidade e aproveitar ao máximo os benefícios dessa tecnologia.

4.3.2 Avaliações de desempenho em projetos BIM

A avaliação do desempenho em projetos BIM é essencial para garantir a eficiência e eficácia da implementação dessa metodologia, buscando um equilíbrio entre a utilização otimizada dos recursos e a obtenção dos resultados desejados (SUCCAR, 2010c). Para isso, propõe-se a utilização de indicadores que contemplem três categorias inter-relacionadas - adequação do modelo BIM, acesso à informação e eficiência econômica (ANNEX e RULES, 2015), além de aspectos relacionados à sustentabilidade, como o impacto ambiental do projeto e a eficiência energética da edificação (KRYGIEL e NIES, 2008).

A operacionalização da avaliação do desempenho dos projetos BIM requer o estabelecimento de métricas específicas para cada indicador, a definição de metas e referenciais comparativos, e a coleta de dados confiáveis ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento (SUCCAR *et al.*, 2012). O uso de ferramentas de análise multicritério, como o método ELECTRE TRI-nC, pode auxiliar na ponderação dos diferentes critérios e na classificação dos projetos em níveis de maturidade BIM (COSTA *et al.*, 2018a), permitindo a identificação de oportunidades de melhoria contínua, a disseminação das melhores práticas e o monitoramento do progresso da implementação dessa metodologia transformadora na indústria da construção (EASTMAN, 2011).

4.4

Dados e Amostra

Para demonstrar a aplicação do método ELECTRE TRI-nC na avaliação do desempenho de projetos BIM, foram selecionados oito estudos de caso no Brasil. Os projetos sob avaliação e a correspondente notação de ações, a_i , com $i = 1, \dots, 8$, são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Projetos de BIM avaliados

Ações	Projeto
a_1	1
a_2	2
a_3	3
a_4	4
a_5	5
a_6	6
a_7	7
a_8	8

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Esses projetos representam diferentes tipologias (hospital, aeroporto, Complexo habitacional, Aeroporto, Planta industrial, Ponte, Centro comercial e habitação social) e escalas, e todos implementaram a metodologia BIM em seus processos de design e construção. Foram coletadas informações sobre o nível de maturidade BIM alcançado em cada projeto, bem como dados relacionados com a eficiência, efetividade e qualidade do modelo digital.

4.4.1 Critérios de Avaliação

Os indicadores de maturidade BIM alinhados à I4.0 e à sustentabilidade estão organizados em dimensões individuais - planejamento, gestão do ciclo de vida, gestão de documentos, operação e manutenção, integração de sistemas, infraestrutura, competências, colaboração, governança, gestão de projetos, gestão de riscos, regulamentação, políticas BIM, resíduos e emissões. Considerando os procedimentos individuais de avaliação para lidar com esses indicadores, duas abordagens podem ser adotadas - 1. Considerar as dimensões individuais como critérios e os indicadores como subcritérios, estruturando os critérios de forma hierárquica (SACKS *et al.*, 2018); 2. Combinar os indicadores considerando que cada um descreve um critério, sem considerar dimensões, e aplicar o método uma vez para classificar o desempenho geral (critérios no mesmo nível). Estudos recente DENG *et al.* (2021), utilizara a primeira metodologia para avaliar a maturidade

BIM. No entanto, para fins demonstrativos, neste estudo de caso será adotado o segundo procedimento, avaliando a maturidade BIM de forma integral, considerando todos os indicadores no mesmo nível.

Para avaliar o desempenho dos projetos BIM selecionados, serão considerados os seguintes critérios, conforme ilustrado na Tabela 28

Tabela 28 – Critérios, indicadores e preferências de direção correspondentes

Critérios	Indicadores	Direção
Planejamento (g1)	Avalia a eficácia dos processos de planejamento no projeto BIM, incluindo definição de objetivos, alocação de recursos e cronograma.	Maximizar
Gestão do Ciclo de Vida (g2)	Avalia a gestão do ciclo de vida dos projetos, considerando impactos econômicos, ambientais e sociais	Maximizar
Gestão de Documentos (g3)	Mede a maturidade da gestão documental e sua integração com o modelo BIM, facilitando colaboração e acesso à informação	Maximizar
Operação e Manutenção (g4)	Avalia a gestão da operação e manutenção dos ativos, buscando eficiência e sustentabilidade.	Maximizar
Integração de Sistemas (g5)	Avalia o grau de integração de diferentes sistemas e tecnologias no projeto BIM, melhorando eficiência e colaboração	Maximizar
Infraestrutura (g6)	Avalia a infraestrutura computacional disponível para viabilizar BIM, digitalização e sustentabilidade	Maximizar
Competências (g7)	Mede o nível de habilidades e competências da equipe do projeto em relação ao BIM.	Maximizar.
Colaboração (g8)	Avalia a capacidade de colaboração interna e com parceiros externos no projeto BIM, promovendo a construção sustentável	Maximizar
Governança (g9)	Refere-se à qualidade da governança do projeto BIM, incluindo tomada de decisões, responsabilidade e transparência	Maximizar
Gestão de Projetos (g10)	Avalia métodos e capacidade de gestão de projetos BIM sustentáveis	Maximizar
Gestão de Riscos (g11)	Analisa a gestão de riscos nos projetos BIM, considerando riscos econômicos, ambientais e sociais.	Maximizar
Regulamentação (g12)	Refere-se ao cumprimento das regulamentações no projeto BIM	Maximizar
Políticas BIM (g13)	Avalia políticas organizacionais relacionadas ao BIM e sustentabilidade	Maximizar
Resíduos (g14)	Analisa a geração, descarte e economia circular de resíduos de construção	Maximizar
Emissões (g15)	Mede as emissões de gases de efeito estufa do projeto BIM	Maximizar

Fonte - Elaborado pelo Autor.

4.4.2 Tabelas de Desempenho

O período de análise estabelecido para este estudo abrangeu projetos de construção recentes no Brasil, com ênfase naqueles que implementaram metodologias BIM. Foram avaliados 8 projetos (A-H) em 15 critérios, representando diferentes aspectos da maturidade BIM, desde planejamento até emissões.

Para lidar com a imprecisão e subjetividade inerentes às avaliações dos especialistas, adotou-se uma abordagem baseada em lógica fuzzy. Esta metodologia

permite modelar eficazmente as incertezas presentes nas avaliações (KHAN *et al.*, 2018). A Tabela 28 apresenta a escala linguística utilizada e os números fuzzy triangulares correspondentes, fornecendo uma base linguística para as avaliações dos especialistas.

Para facilitar a aplicação e reprodutibilidade da metodologia de avaliação fuzzy descrita, foi desenvolvido um script em Python que implementa todos os passos do processo. Este script inclui funções para converter avaliações linguísticas em números fuzzy, calcular médias fuzzy, realizar defuzzificação, calcular a entropia de Shannon e determinar os pesos dos critérios. A implementação em Python permite uma aplicação consistente e eficiente da metodologia, facilitando a análise de grandes conjuntos de dados e a realização de análises de sensibilidade. Além disso, o código pode ser facilmente adaptado para incluir outros métodos de defuzzificação ou cálculo de entropia, proporcionando flexibilidade para futuras extensões do modelo de avaliação de maturidade BIM. As avaliações dos especialistas para cada projeto e critério foram coletadas utilizando esta escala.

O sistema foi projetado para operar com variáveis linguísticas que variam desde "muito baixo" (vl), "baixo" (lo), "médio" (md), "alto" (hi) até "muito alto" (vh). As regras são implementadas seguindo uma estrutura condicional de antecedentes e consequentes, onde cada regra avalia a combinação de duas variáveis de entrada. A base de regras estabelecida segue um padrão lógico onde, por exemplo, se ambas as entradas são "muito baixas" (vl, vl), o resultado é "muito baixo" (vl). Se uma entrada é "muito baixa" e a outra é "baixa" (vl, lo), o resultado é "baixo" (lo). À medida que os valores de entrada aumentam, as regras produzem resultados proporcionalmente mais altos. Por exemplo, quando uma entrada é "alta" e a outra é "muito alta" (hi, vh), o resultado é "muito alto" (vh).

O sistema utiliza um total de 777 regras que cobrem todas as possíveis combinações das cinco variáveis linguísticas (vl, lo, md, hi, vh), permitindo uma avaliação completa e coerente das entradas (Apêndice 3). A avaliação destas regras é realizada mediante operadores de lógica fuzzy, especificamente utilizando o operador min para a interseção e max para a união de conjuntos fuzzy, seguido de um processo de defuzzificação mediante o método do centroide para obter um valor numérico de saída. Esta escala é apresentada na Tabela 29, fornecendo uma base linguística para as avaliações dos especialistas (ZADEH, 1965).

Tabela 29 – Termos linguísticos para pesos de critérios de avaliação de desempenho

Valor	Acrônimo	Número triangular fuzzy
Muito Baixo	vl	(0, 0.1, 0.3)
Baixo	lo	(0.1, 0.3, 0.5)
Médio	md	(0.3, 0.5, 0.7)
Alto	hi	(0.5, 0.7, 0.9)
Muito Alto	vh	(0.7, 0.9, 1.0)

Fonte - Elaborado pelo Autor.

O processo de análise de dados foi desenvolvido de maneira sistemática e estruturada, iniciando com o agrupamento das respostas por itens, onde as avaliações dos especialistas foram coletadas para cada projeto e seus respectivos elementos utilizando uma escala linguística predefinida, informação que se encontra detalhada na Tabela 30 que apresenta estas avaliações em sua forma bruta para os 15 critérios e itens estabelecidos. Posteriormente, procedeu-se com a agregação de números fuzzy, calculando a média aritmética dos números fuzzy triangulares provenientes das avaliações dos especialistas para cada critério em cada projeto. O processo continuou com a defuzzificação, onde os resultados agregados foram transformados mediante o método do centroide para obter um valor numérico final para cada avaliação. Para determinar a relevância da informação proporcionada por cada critério, realizou-se o cálculo da entropia de informação utilizando o método de entropia fuzzy de Shannon. Finalmente, foram computados os pesos dos critérios empregando o mesmo método de entropia fuzzy de Shannon, estes pesos são fundamentais pois representam a importância relativa de cada indicador na avaliação global da maturidade BIM.

A Tabela 31 apresenta as avaliações brutas dos especialistas para os 8 projetos, em 15 indicador e pesos, foram coletadas utilizando esta escala e processadas pela metodologia fuzzy. A tabela mostra os resultados obtidos pelo código em Python, considerando as opiniões do grupo convertidas em números fuzzy, além das avaliações finais após a defuzzificação, cálculo da entropia e determinação dos pesos dos critérios.

Os critérios g1 a g15 representam diferentes aspectos da maturidade BIM, desde planejamento até emissões. A notação gj (ai) denota o desempenho da ação ai (projeto) no critério gj.

Esta abordagem metodológica robusta permite uma avaliação abrangente e precisa do desempenho dos projetos BIM, considerando a natureza subjetiva das avaliações e a importância relativa dos diferentes critérios de maturidade. A análise destes

resultados fornecerá insights valiosos sobre o estado atual da implementação BIM nos projetos de construção brasileiros avaliados.

Tabela 30 – Avaliações brutas dos especialistas

Dimensões			Processos							Tecnologia							Sustentabilidade														
Indicador	Planejamento			Gestão de documentos		Operação e Manutenção			Integração de sistemas			Infraestrutura				Gestão do ciclo de vida		Gestão de riscos			Resíduos			Emissões							
Proj-Items	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15			I34	I35	I36	I37	I38	I39	I40	I41	I42	I43	I44	I45		
Proj1	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5			4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5		
Proj2	4	5	5	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Proj3	5	4	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4			3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4		
Proj4	4	5	3	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5			4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5		
Proj5	3	4	5	5	2	2	2	3	3	3	4	3	3	2	3			3	4	4	2	2	3	4	3	5	4	4	5		
Proj6	5	4	4	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5			3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5		
Proj7	4	5	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3			5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3		
Proj8	2	3	5	1	4	2	3	5	1	4	2	3	5	1	4			1	4	2	3	5	1	4	2	3	5	1	4		

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Tabela 31 – Desempenho de projetos de construção em critérios de maturidade BIM

	Planejamento	Gestão de documentos	Operação e Manutenção	Integração de sistemas	Infraestrutura	Competências	Colaboração	Governança	Gestão de Proj	Regulamentação	Políticas BIM	Gestão do ciclo de vida	Gestão de riscos	Resíduos	Emissões
Projeto1	3.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Projeto2	3.00	4.67	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Projeto3	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Projeto4	3.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Projeto5	3.00	4.67	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Projeto6	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Projeto7	3.00	4.67	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Projeto8	2.00	3.00	2.00	1.33	1.33	2.00	1.33	1.33	2.00	1.33	2.00	1.33	1.33	2.00	1.33
Peso	0.06	0.03	0.05	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.05	0.09	0.05	0.08	0.08	0.03	0.10

Fonte - Elaborado pelo Autor.

4.4.3 Critérios e Ações de Referência

O tomador de decisões avaliou cinco categorias distintas - Vermelho (C1), que inclui projetos com um nível de maturidade BIM Inicial(1-0), considerados casos críticos; Laranja (C2), que abrange projetos com um nível de maturidade BIM Desenvolvimento(2-1), requerendo melhorias significativas; Amarelo (C3), que compreende projetos com um nível de maturidade BIM Integrado(3-2), necessitando de avaliação adicional para identificar áreas de melhoria; Verde Claro (C4), que engloba projetos com um nível de maturidade BIM Gerenciado quantitativamente(4-3), considerados opções de qualidade para a implementação do BIM; e Verde Escuro (C5), que se refere a projetos com um nível de maturidade BIM Otimizado(5), considerados casos de sucesso e modelos a seguir para a organização. Para definir essas categorias, foram estabelecidos múltiplos perfis de referência, levando em conta as variações nos níveis de desempenho que poderiam ser incluídas em cada uma. Para os critérios com mais de três indicadores, foi definida uma única ação de referência. A descrição dos níveis de desempenho das ações de referência para cada categoria é apresentada na Tabela 32.

Tabela 32 – Desempenho das ações de benchmark nos critérios

Categoria	Ação de Referência	Critérios														
		Plan	Gestão	Opera	Integr	Infrae	Comp	Colab	Gover	Gestão	Regul	Polític	Gestão	Gestão	Resídu	Emiss
Vermelho (C1)	b_5^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Laranja (C2)	b_4^1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	b_4^2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Amarelo (C3)	b_3^1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	b_3^2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Verde Claro (C4)	b_2^1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	b_2^2	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25
Verde Escuro (C5)	b_1^1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

Fonte - Elaborado pelo Autor.

4.4.4 Limiares

Seguindo a abordagem de ALMEIDA *et al.* (2012), implementou-se uma estratégia diferenciada na atribuição de limiares. Para os critérios com escalas qualitativas (g1 a g13), que variam de 1 a 4, não foram definidos limiares de indiferença (qj) nem de preferência (pj), já que as diferenças entre níveis estão implicitamente consideradas na escala discreta. Em contraste, para os critérios quantitativos de sustentabilidade (g12-Gestão do ciclo de vida, g13-Gestão de riscos, g14 - Resíduos e g15 - Emissões), estabeleceram-se limiares de indiferença e preferência para abordar a imprecisão nas medições e as zonas de transição entre preferências. No entanto, a definição de thresholds de veto foi considerada útil pelo tomador de decisões para alguns dos critérios, como mostrado na Tabela 33.

Para todos os critérios (g1 a g15) estabeleceram-se limiares de indiferença (qj) com valor constante de 0.1, considerando o nível mínimo de precisão necessário para discriminação das avaliações na escala proposta. Para os limiares de preferência (pj), definiu-se um valor constante de 0.3 para todos os critérios, representando uma diferença significativa que indica clara preferência entre alternativas na escala de avaliação.

Em contraste, para os critérios fundamentais do BIM e aspectos críticos de gestão, estabeleceram-se limiares de veto (vj) de 0.8 para elementos específicos - planejamento (g1), competências (g6), colaboração (g7), governança (g8), regulamentação (g10) e emissões (g15). Esta seleção estratégica de vetos reflete a importância crítica destes critérios para o sucesso da implementação BIM e sustentabilidade do projeto.

Para os demais critérios, optou-se por não estabelecer limiares de veto, permitindo maior flexibilidade na avaliação sem comprometer o rigor metodológico. Esta decisão baseia-se na natureza complementar destes critérios e sua contribuição relativa para a maturidade BIM global.

Esta configuração de limiares permite uma discriminação precisa entre os níveis de maturidade BIM, reconhecendo as diferenças inerentes entre os tipos de critérios. A estratégia equilibra o rigor na avaliação dos aspectos essenciais do BIM com flexibilidade apropriada nos critérios complementares. Todos os critérios seguem uma direção de maximização, buscando os maiores níveis de desempenho possíveis em cada dimensão avaliada. Esta abordagem diferenciada contribui para uma

avaliação robusta e matizada da maturidade BIM, alinhada com as melhores práticas do método ELECTRE TRI-nC.

Tabela 33 – Thresholds de veto para os critérios de avaliação de maturidade BIM

Thresholds	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g8	g9	g10	g11	g12	g13	g14	g15
q^β	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
p^β	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
v^β	0.8	--	--	--	--	0.8	0.8	0.8	--	0.8	--	--	--	--	0.8

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Para resolver este modelo, utilizou-se o MCDA-ULaval, uma ferramenta de software para problemas de (MCDM/A)(ABI-ZEID e MARAIS, 2021). Para a execução do problema apresentado, foi aplicado em oito projetos, como mencionado anteriormente.

A aplicação do método ELECTRE TRI-nC através do software MCDA-ULaval reforça a robustez e a consistência da avaliação de maturidade BIM proposta. A criação de múltiplos projetos para abordar critérios com mais de três subcritérios e a captura das perspectivas descendente e ascendente sobre o conjunto de critérios demonstram um rigor metodológico notável. Essa abordagem sistemática assegura que as complexidades e nuances inerentes à avaliação da maturidade BIM sejam tratadas adequadamente, resultando em uma análise abrangente e confiável.

4.4.5 Relações de superação

Seguindo os fundamentos do ELECTRE TRI-nC, a análise das relações de sobreclassificação com $\lambda = 0,65$ revelou padrões significativos na classificação das alternativas. O índice de corte selecionado ($\lambda = 0,65$) representa um nível moderadamente exigente de credibilidade, permitindo uma discriminação adequada entre as categorias sem ser demasiadamente restritivo. A análise detalhada das relações λ -binárias, considerando a classificação final obtida, revela padrões estruturais distintos para as diferentes categorias. As categorias inferiores (C1 e C2) são dominadas por todas as alternativas (a1 a a8), indicando que nenhum projeto apresenta nível básico ou iniciante de maturidade BIM, evidenciando um padrão consistente de desenvolvimento BIM nos projetos avaliados.

Por outro lado, a categoria intermediária (C3) apresenta maior variabilidade nas relações, com os projetos a3, a4, a5 e a7 demonstrando dominância, os projetos a1,

a2 e a6 sendo dominados, e o projeto a8 apresentando indiferença. Essa diversidade sugere que a categoria C3 representa um ponto crítico de discriminação na escala de maturidade. Em relação aos níveis de classificação final, 87,5% dos projetos (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) foram classificados como "Integrado", enquanto 12,5% (projeto 8) foram classificados como "Desenvolvimento", havendo consistência entre as avaliações Pessimista e Otimista para todos os projetos. As relações λ -binárias obtidas podem ser observadas na Tabela 34.

Tabela 34 – Relações λ -binárias entre ações e categorias para ambas as visualizações ($\lambda = 0,65$)

Categoria	Projeto 1	Projeto2	Projeto3	Projeto4	Projeto5	Projeto6	Projeto7	Projeto 8
C1	>	>	>	>	>	>	>	>
C2	>	>	>	>	>	>	>	>
C3	<	<	>	>	>	<	>	I
C4	<	<	<	I	<	<	I	<
C5	<	<	<	<	<	<	<	<
PESSIMISTA	In	In	In	In	In	In	In	D
OTIMISTA	In	In	In	In	In	In	In	D

Fonte - MCDA-ULaval (ABI-ZEID e MARAIS, 2021).

Onde - In = Integrado, D = Desenvolvimento

A análise integrada evidencia uma robustez na classificação final, demonstrando consistência entre as relações de preferência e as categorias atribuídas. Além disso, apresenta uma clara distinção entre os níveis de maturidade, com uma distribuição significativamente concentrada no nível Médio (87,5%).

Essa configuração de relações e resultados possibilita uma discriminação clara entre os níveis de maturidade, permitindo também a identificação de grupos de projetos com características similares. Além disso, facilita o reconhecimento dos pontos de transição entre as categorias e a avaliação da distância relativa para alcançar a excelência em BIM.

A ausência de relações de incomparabilidade (R) e a simetria entre as visualizações ascendente e descendente confirmam a robustez do processo de classificação. Esta análise estruturada fornece uma base sólida para a identificação de oportunidades de melhoria na maturidade BIM dos projetos avaliados.

4.4.6 Procedimentos de Atribuição

Os resultados obtidos com a execução do modelo foram idênticos para as visões ascendente e descendente, e estão resumidos na Tabela 35.

Tabela 35 – Categorias atribuídas para ambas as visões ($\lambda = 0.65$)

Categoria	P1	P 2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Cat. Mín.	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C2
Cat. Máx.	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C2

Fonte - Elaborado pelo Autor.

A Tabela 36 indica a frequência das categorias neste processo de atribuição.

Tabela 36 – Frequência das categorias para ambas as visões ($\lambda = 0.65$)

Categoria	C1	C1-C2	C2	C2-C3	C3	C3-C4	C4	C4-C5	C5
Frequência	0%	0%	12.5%	0%	87.5%	0%	0%	0%	0%

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Os resultados mostram uma concentração significativa de projetos no nível integrado de maturidade BIM (C3), representando 87.5% dos casos. Isso sugere que a adoção e implementação do BIM nos projetos de construção avaliados no Brasil encontram-se predominantemente em um estágio intermediário de desenvolvimento. Um resultado destacado é a ausência de projetos nas categorias extremas (C1 e C5), indicando que não há projetos com níveis muito inicial ou otimizado de maturidade BIM.

Apenas 12.5% dos projetos analisados (correspondente a um projeto) está na categoria C2, o que indica um nível de maturidade BIM que requer melhorias significativas. Este projeto poderia se beneficiar de intervenções específicas em áreas como planejamento, gestão do ciclo de vida e integração de sistemas.

A maioria dos projetos (87,5%) está na categoria C3, o que reflete um nível intermediário de maturidade na implementação do BIM. Essa concentração indica uma tendência à padronização das práticas de implementação e uma consistência nos processos de adoção da tecnologia. No entanto, também evidencia oportunidades significativas de melhoria para alcançar níveis mais avançados de maturidade, como a categoria C4, o que exigirá estratégias específicas voltadas para essa evolução.

Esta distribuição proporciona uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias visando a elevação do nível de maturidade BIM nos projetos avaliados, com foco particular na transição do nível médio para níveis superiores de maturidade.

4.5

Discussão e implicações

Os resultados obtidos através da aplicação do modelo ELECTRE TRI-nC revelam padrões significativos na maturidade BIM dos projetos de construção brasileiros, com 87,5% dos projetos classificados na categoria C3 (nível integrado) e apenas 12,5% na categoria C2 (nível em desenvolvimento). Esta distribuição, quando analisada através do dashboard multidimensional desenvolvido, que integra os 15 indicadores-chave de desempenho, permite uma compreensão mais profunda dos fatores que influenciam a maturidade BIM. Com desempenho médio entre 61-62% para a maioria dos projetos (exceto o Projeto 8 com 28%), os resultados não apenas validam a robustez do modelo proposto, mas também oferecem insights valiosos para políticas e estratégias de implementação BIM no contexto brasileiro.

Os resultados obtidos através da análise computacional desenvolvida em Python, em conjunto com os cálculos realizados por meio da plataforma Ulaval, foram sistematicamente organizados e analisados utilizando o Microsoft Excel como ferramenta integradora. A convergência dessas três ferramentas gerou uma sinergia significativa que fortalece a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos, proporcionando uma compreensão mais abrangente e aprofundada do fenômeno estudado. Esta abordagem metodológica integrada não apenas otimizou o processamento dos dados, mas também permitiu uma análise mais robusta e precisa das variáveis envolvidas na pesquisa. A seguir, apresenta-se uma análise detalhada de cada projeto, identificando padrões, desafios e oportunidades que podem informar futuras iniciativas de desenvolvimento BIM no setor da construção, conforme ilustrado na Figura 20.

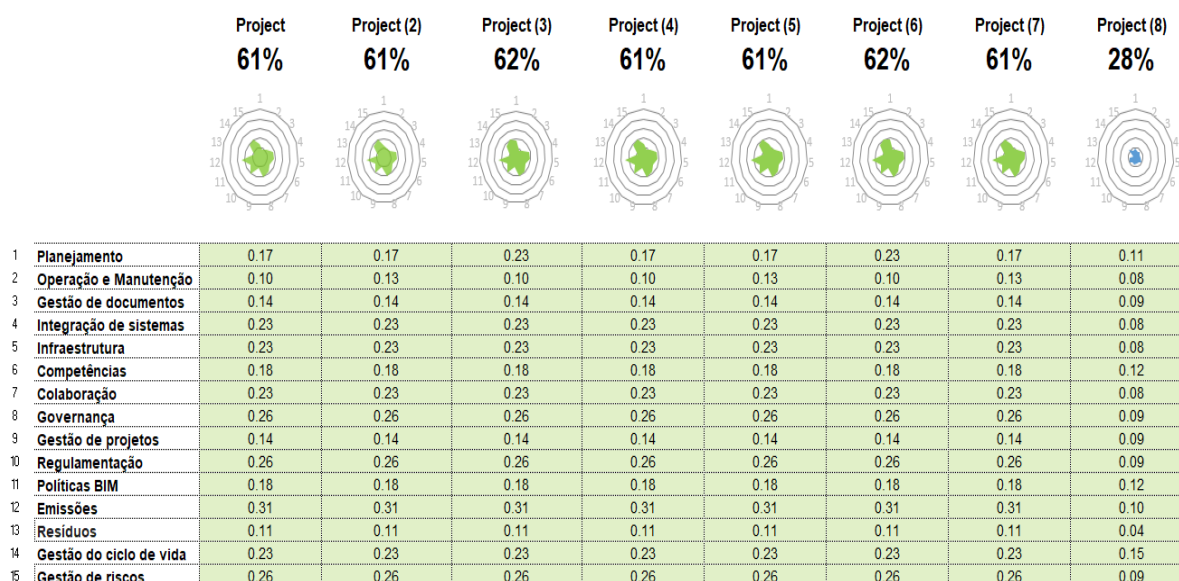


Figura 20 – Dashboard de Avaliação de MMB. **Fonte** - Elaborado pelo Autor.

A Figura 20 apresenta o dashboard desenvolvido para visualizar os resultados da avaliação de maturidade BIM, utilizando gráficos radar e uma tabela detalhada dos indicadores. Esta visualização multidimensional permite uma análise aprofundada da maturidade BIM em diferentes tipologias de projetos de construção.

Análise Individual dos Projetos -

Projeto 1 (61% - Edificações Públicas) - O desempenho em Emissões (0,31) e Regulamentação (0,26) reflete a conformidade com o Decreto nº 10.306/2020 e a Nova Lei de Licitações (Lei Federal nº 14.133), demonstrando alinhamento com as políticas públicas de implementação BIM. A pontuação em Governança (0,26) sugere uma estrutura organizacional bem estabelecida, essencial para projetos públicos. Entretanto, o baixo desempenho em Operação e Manutenção (0,10) indica uma lacuna crítica na gestão do ciclo de vida da edificação, aspecto fundamental segundo SUCCAR (2010b) para a efetividade do BIM em edificações públicas. A Integração de sistemas (0,23) demonstra um nível intermediário de maturidade tecnológica, alinhado com as diretrizes da ABDI para implementação BIM no setor público.

Projeto 2 (61% - Unidades de Saúde) - O destaque em Emissões (0,31) e Regulamentação (0,26) evidencia conformidade com as normas técnicas específicas do setor de saúde. A melhoria na Operação e Manutenção (0,13), embora ainda modesta, indica reconhecimento da importância da gestão de facilities em estabelecimentos de saúde, conforme destacado por EASTMAN (2011). A

Infraestrutura (0,23) e Integração de sistemas (0,23) refletem a complexidade das instalações hospitalares e a necessidade de coordenação entre diferentes sistemas prediais, aspecto crítico apontado por SACKS *et al.* (2018).

Projeto 3 (62% - Equipamento Esportivo) - A excelência em Planejamento (0,23) e Emissões (0,31) demonstra maturidade na gestão de projetos complexos. A Governança (0,26) robusta sugere uma estrutura organizacional capaz de gerenciar múltiplos stakeholders, característica essencial em empreendimentos esportivos de grande porte, conforme destacado por KRISTIANSEN *et al.* (2021). A Integração de sistemas (0,23) reflete a capacidade de coordenação entre diferentes disciplinas, fundamental para instalações esportivas segundo critérios da indústria 4.0.

Projeto 4 (61% - Habitacional) - O equilíbrio entre Emissões (0,31) e Governança (0,26) indica uma abordagem sustentável alinhada com políticas habitacionais. A Integração de sistemas (0,23) e Infraestrutura (0,23) demonstram padronização de processos, crucial para projetos habitacionais em escala (KRYGIEL e NIES, 2008). O desempenho em Gestão do ciclo de vida (0,23) sugere preocupação com a durabilidade e qualidade das habitações, aspecto destacado por DENG *et al.* (2021).

Projeto 5 (61% - Infraestrutura Aeroportuária) - O alto desempenho em Emissões (0,31) e Governança (0,26) reflete a complexidade e exigências regulatórias do setor aeroportuário. A pontuação em Integração de sistemas (0,23) e Infraestrutura (0,23) indica capacidade de gestão de sistemas complexos, essencial segundo ANNEX e RULES (2015). A Colaboração (0,23) demonstra maturidade na coordenação multidisciplinar, fundamental para infraestruturas críticas.

Projeto 6 (62% - Complexo Industrial) - O destaque em Planejamento (0,23) e Emissões (0,31) evidencia alinhamento com requisitos industriais. A Regulamentação (0,26) e Governança (0,26) indicam conformidade com normas setoriais e gestão eficiente de processos. A Integração de sistemas (0,23) reflete a capacidade de coordenação em ambiente industrial complexo, aspecto destacado por SUCCAR *et al.* (2012).

Projeto 7 (61% - Obra de Arte Especial) - A consistência em Emissões (0,31) e Governança (0,26) demonstra maturidade na gestão de projetos de infraestrutura complexa. A Integração de sistemas (0,23) e Competências (0,18) refletem a capacidade técnica necessária para obras de arte especiais. O desempenho em Gestão de riscos (0,26) indica reconhecimento da complexidade do empreendimento, conforme destacado por KHAN *et al.* (2018).

Projeto 8 (28% - Empreendimento Comercial) - O baixo desempenho generalizado, especialmente em Resíduos (0,04) e Integração de sistemas (0,08), sugere desafios significativos na implementação BIM. Os resultados indicam necessidade de intervenção em aspectos fundamentais como Competências (0,12) e Infraestrutura (0,08), alinhados com os níveis de maturidade propostos por SUCCAR (2010b).

A análise de padrões e tendências dos projetos revela insights significativos sobre o estado atual da implementação BIM no Brasil, abrangendo múltiplas dimensões organizacionais. Na dimensão de Processos, enquanto o Planejamento demonstra avanços moderados (0,22), a Operação e Manutenção apresenta pontuações mais baixas (0,10-0,13), evidenciando uma área crítica que demanda desenvolvimento, complementada pela Gestão de documentos que mantém níveis intermediários (0,20). No aspecto Tecnológico, a Integração de sistemas (0,23) e Infraestrutura (0,21) indicam um nível intermediário de maturidade digital. A dimensão Pessoas revela progressos significativos em Competências (0,25) e Colaboração (0,24), fundamentais para a adoção efetiva do BIM. Na esfera Organização/Estratégia, as pontuações consistentes em Governança (0,26) e Gestão de projetos (0,24) sugerem estruturas organizacionais bem estabelecidas. A componente Política demonstra força particular na Regulamentação (0,26), refletindo o impacto positivo do marco regulatório BIM brasileiro, suportado por Políticas BIM robustas (0,25). Na dimensão Sustentabilidade, o desempenho em Emissões (0,31) e Gestão do ciclo de vida (0,28) demonstra um alinhamento satisfatório com diretrizes ambientais, enquanto a Gestão de resíduos (0,27) e Gestão de riscos (0,25) completam um quadro abrangente de compromisso com práticas sustentáveis.

Esta análise abrangente dos projetos fornece uma base sólida para desenvolver estratégias práticas de implementação e melhoria contínua do BIM no setor da construção brasileiro. Com base nos resultados apresentados, é fundamental abordar como esses achados podem se traduzir em estratégias viáveis para as empresas. A integração dos princípios da Indústria 4.0 e da sustentabilidade no MMB demonstra um potencial significativo para transformar a indústria da construção (AKBARI *et al.*, 2024a), particularmente considerando os padrões de desempenho observados nos projetos analisados.

4.5.1 FCS na Transição da Maturidade BIM - Integrando Dimensões e Capacidades Dinâmicas

No âmbito dos FCS na transição para a Maturidade BIM, a Tabela 23 da Seção 4.1 apresenta uma estrutura integrativa e inovadora, ao articular as dimensões do BIM com a teoria de capacidades dinâmicas de TEECE (2018). Esta abordagem estabelece um guia estratégico para organizações que buscam implementar o BIM, estruturando os FCS em quatro dimensões fundamentais - Tecnológica, Pessoas, Política e Processo. Estas dimensões são estrategicamente alinhadas com os aspectos Regenerativo, Renovação e Incremental da capacidade dinâmica, fornecendo um framework robusto para a integração efetiva do BIM com transformação digital e sustentabilidade.

CAIADO *et al.* (2016) sugerem que compreender o nível avaliado pode auxiliar organizações a melhorar sua competência através de estratégias específicas em cada estágio de transição. A tabela sintetiza os FCS para cada nível e recomenda ações concretas para avançar na Maturidade BIM, abordando a necessidade de integração digital e sustentabilidade.

Os FCS são agrupados sistematicamente para enfrentar desafios organizacionais em cada nível de Maturidade BIM, desde estabelecer infraestrutura tecnológica e treinamento até gerenciar riscos legais e aprimorar colaboração em estágios avançados. SUCCAR (2009) destaca FCS em cada estágio de seu MMB de cinco níveis, enquanto (GIEL e; ISSA, 2013) os categorizam em pessoas, processos, tecnologia e gestão, sublinhando sua importância através dos estágios de maturidade. Pesquisas de DAKHIL *et al.* (2019) enfatizam a importância de uma abordagem estruturada e gradual na transição entre níveis de maturidade BIM, alinhando FCS com objetivos organizacionais. POWELL *et al.* (2024), ressaltam que uma abordagem cumulativa e progressiva das capacidades dinâmicas é crucial para uma transição efetiva à maturidade BIM, permitindo que organizações se adaptem e inovem.

Do Nível 0, onde emergem as capacidades iniciais regenerativas e de renovação, até o Nível 5, com cooperação avançada e gestão do ciclo de vida, as organizações desenvolvem cerca de 42 capacidades dinâmicas. Esta progressão gradual enfatiza a importância de uma abordagem sustentada na jornada de maturidade BIM.

Esta abordagem estruturada e cumulativa permite que as organizações evoluam continuamente, integrando novas competências e alinhando-se com as capacidades

dinâmicas necessárias para inovação contínua. Uma vez determinado o nível atual de maturidade, planos de ação podem ser desenvolvidos para progredir ao próximo estágio, conforme indicado na Tabela 23.

A integração da teoria das Capacidades Cumulativas com a teoria das Capacidades Dinâmicas cria uma estrutura robusta para compreender a transformação digital em projetos de construção através da implementação BIM. POWELL *et al.* (2024) destacam o valor de uma abordagem cumulativa, alinhando-se com o framework de SUCCAR (2009). A teoria das Capacidades Dinâmicas de TEECE'S (2018) enfatiza a habilidade de integrar, construir e reconfigurar competências para adaptar-se a ambientes em mudança.

Os FCS foram validados através de um rigoroso processo de revisão de escopo. Este desenvolvimento iterativo envolveu sintetizar descobertas de múltiplos estudos e alinhá-las com várias teorias, aprofundando a compreensão de como as capacidades se acumulam e se tornam mais complexas conforme os projetos avançam na maturidade BIM.

Com base nos resultados apresentados, é essencial abordar como estes resultados se traduzem em estratégias viáveis para empresas. A integração dos princípios da Indústria 4.0 e sustentabilidade dentro do BMM demonstra potencial significativo para transformar a indústria da construção (AKBARI *et al.*, 2024b).

O BMM proposto fornece uma estrutura abrangente para avaliar a maturidade em áreas críticas, incluindo processos, tecnologia, pessoas, organização/estratégia, políticas e sustentabilidade. Cada uma destas dimensões está associada a estratégias específicas, como implementar capacidades de análise preditiva, integrar práticas de sustentabilidade do projeto à operação, e melhorar continuamente a interoperabilidade digital.

Adicionalmente, o modelo destaca FCS que guiam organizações na transição entre níveis de maturidade. Estes incluem treinamento de pessoal, desenvolvimento de infraestrutura digital e fortalecimento de uma cultura organizacional que promova inovação tecnológica. Através destes FCS, as empresas podem identificar áreas específicas para melhoria, criar planos de ação concretos e superar barreiras comuns associadas à resistência à mudança e implementação de novas tecnologias.

Esta abordagem integrada assegura que o framework forneça uma base conceitual robusta para avaliar a maturidade BIM e entregue um conjunto de estratégias viáveis que as empresas podem adotar para evoluir em direção a uma maior maturidade

digital e sustentabilidade. As organizações podem avançar sistematicamente através dos níveis de maturidade alinhando suas capacidades com os requisitos da Indústria 4.0 e princípios de desenvolvimento sustentável, mantendo uma direção estratégica clara.

As mudanças iterativas nos FCS alinham-se com as dimensões BIM e níveis de maturidade, ilustrando a abordagem cumulativa descrita por POWELL *et al.* (2024), onde cada nível se constrói sobre capacidades anteriores, fomentando uma organização adaptável e inovadora.

Fundamentados nas teorias de Capacidades Cumulativas e Dinâmicas, estes FCS auxiliam projetos de construção no avanço da maturidade BIM através de -

1. Fornecimento de um roteiro claro para o desenvolvimento progressivo de capacidades dinâmicas em cada estágio de maturidade BIM.
2. Facilitação na identificação e desenvolvimento das capacidades necessárias para adaptação às mudanças em cada nível.
3. Capacitação das equipes de projeto para alinhar estratégias BIM com o desenvolvimento contínuo de capacidades e a necessidade de adaptação.
4. Oferecimento de uma estrutura para avaliar o progresso na acumulação de capacidades e adaptabilidade, refletindo a abordagem cumulativa proposta por POWELL *et al.* (2024).

Com base na literatura e entrevistas, foi proposta uma relação mais detalhada entre os Fatores Críticos de Sucesso, as seis dimensões do modelo BIM e os níveis de transição em projetos de construção -

Nos estágios iniciais (Nível 0 ao Nível 1), o foco é principalmente em tecnologia, com os FCS F1 a F5 enfatizando infraestrutura tecnológica e ferramentas de modelagem. A dimensão Pessoas também desempenha um papel fundamental, já que o fator F41 destaca a necessidade de consciência básica do BIM entre os membros da equipe.

Do Nível 1 ao Nível 2, há uma mudança para a dimensão Pessoas, com os fatores F8 a F15 focando em treinamento, papéis definidos e competências da equipe, mostrando que o capital humano se torna essencial uma vez estabelecida a base tecnológica.

Na transição do Nível 2 ao Nível 3, o foco muda para a dimensão Organização/Estratégia, com os fatores F16 a F21 abordando conscientização do projeto, atitudes profissionais e incentivos.

Nos estágios avançados (Níveis 3 a 4 e 4 a 5), os fatores são distribuídos mais uniformemente entre as dimensões Processo, Política e Sustentabilidade. Os fatores F22 a F29 na transição do Nível 3 ao 4 focam em elementos de política e processo, enquanto F30 a F40 na transição do Nível 4 ao 5 destacam colaboração avançada e sustentabilidade do projeto.

Esta estrutura teórica, enriquecida pela revisão de literatura e entrevistas com especialistas, nos permitiu desenvolver uma abordagem mais prática e específica para avançar a maturidade BIM em projetos. Esta abordagem traduz os FCS identificados em passos concretos e acionáveis que os projetos podem realizar para progredir através dos níveis de maturidade BIM -

Transição do Nível 0 para o Nível 1 - Ação 1 - Estabelecer a infraestrutura tecnológica básica do projeto

1. Implementar uma rede de internet estável e rápida para o projeto (F2)
2. Adquirir ferramentas e equipamentos para modelagem de realidade específica do projeto (F3)
3. Selecionar software apropriado para aplicação BIM no projeto (F4)
4. Ação 2 - Fomentar uma cultura de adoção de tecnologia dentro da equipe do projeto
5. Promover uma atitude positiva em relação a novas tecnologias entre os membros do projeto (F1)
6. Aumentar a conscientização e fornecer entendimento básico do BIM entre líderes e membros da equipe do projeto (F41)

Transição do Nível 1 para o Nível 2 - Ação 3 - Desenvolver competências e papéis BIM dentro do projeto

1. Facilitar o treinamento BIM necessário para a equipe do projeto (F8)
2. Definir papéis e responsabilidades claros dentro do projeto BIM (F10)
3. Melhorar a competência técnica do pessoal do projeto (F15)
4. Ação 4 - Estabelecer expertise e qualificações BIM dentro da equipe do projeto
5. Desenvolver um nível de expertise BIM dentro da equipe do projeto (F9)
6. Garantir a disponibilidade de recursos humanos competentes e qualificados para o projeto BIM (F12)

Transição do Nível 2 para o Nível 3 - Ação 5 - Implementar gestão e fluxo de trabalho baseados em BIM no projeto

1. Estabelecer gestão de projeto e fluxo de trabalho baseados em BIM ao longo da cadeia de valor do projeto (F19)
2. Desenvolver equipes maduras de gestão BIM e especialistas BIM dentro do projeto (F21)
3. Ação 6 - Aumentar a conscientização e reconhecimento do BIM dentro do projeto
4. Elevar o nível de conscientização e expertise BIM dentro do projeto (F16)
5. Abordar o reconhecimento de pessoal de gestão BIM de nível médio a sênior no contexto do projeto (F20)

Transição do Nível 3 para o Nível 4 - Ação 7 - Integrar documentação do projeto e gestão de riscos

1. Integrar documentação do projeto/preparação de licitação usando BIM (F22)
2. Reduzir riscos de reclamações, litígios e disputas relacionadas ao projeto (F23, F24)
3. Ação 8 - Estabelecer padrões e regulamentos BIM específicos do projeto
4. Implementar regulamentos específicos de licitação do projeto (F26)
5. Estabelecer padrões, códigos, regras e regulamentos BIM e LC para o projeto (F27)

Transição do Nível 4 para o Nível 5 - Ação 9 - Implementar colaboração avançada e gestão do ciclo de vida do projeto

1. Estabelecer acesso simultâneo e cooperação nos locais de construção do projeto (F30)
2. Implementar fluxo de processos interativo entre as partes interessadas do projeto (F32)
3. Concordar sobre entregáveis para o ciclo de vida do ativo do projeto (F36)
4. Ação 10 - Desenvolver capacidades de análise preditiva e sustentabilidade do projeto
5. Implementar análise preditiva de desempenho (térmica, energia, CO2) para o projeto (F37)
6. Estabelecer sistemas sistemáticos de educação BIM dentro do projeto (F39)
7. Desenvolver gestão de projeto e fluxo de trabalho baseados em BIM ao longo da cadeia de valor do projeto (F40)

Estas ações oferecem uma estrutura estruturada para os projetos planejarem e executarem sua transição de maturidade BIM, abordando fatores críticos de sucesso

em cada estágio da transformação digital em seis dimensões-chave - Tecnologia, Pessoas, Política, Processos, Organização/Estratégia e Sustentabilidade.

5

Conclusões e sugestões para pesquisas futuras

Esta pesquisa visou desenvolver um MMB que integra os pilares da Indústria 4.0, sustentabilidade e métodos multicritério, estabelecendo uma estrutura inovadora para avaliar e orientar a implementação do BIM no setor da construção. Cada objetivo específico foi meticulosamente atendido, resultando em avanços teóricos, metodológicos e práticos.

Primeiramente, foi proposto um modelo de maturidade que incorpora transformação digital e sustentabilidade, preenchendo lacunas dos modelos existentes, ao combinar tecnologias emergentes da Indústria 4.0 com critérios de sustentabilidade alinhados à Agenda 2030. Este modelo não apenas aborda a integração digital, mas também considera os impactos socioeconômicos e ambientais no contexto da construção sustentável, respondendo às questões de pesquisa QP1 e QP2.

Além disso, a pesquisa desenvolveu um modelo de apoio à decisão para medir a maturidade BIM, utilizando o método ELECTRE TRI-nC combinado com lógica fuzzy. Esta abordagem proporciona uma diferenciação clara entre as diferentes etapas de maturidade, oferecendo um caminho de evolução para as organizações. As avaliações foram precisas e sistemáticas, considerando múltiplas dimensões simultaneamente, como evidenciado pela classificação dos projetos no nível "Integrado" (C3). O modelo responde de forma robusta à questão de pesquisa QP3, destacando sua aplicabilidade em contextos reais.

A validação do modelo em oito projetos no Brasil demonstrou sua eficácia, relevância prática e potencial para ser aplicado em diferentes cenários organizacionais. Um dos focos centrais desse modelo é a gestão do ciclo de vida BIM, que visa assegurar a aplicação efetiva do BIM em todas as etapas do projeto, desde a concepção até a operação e manutenção. Os resultados não apenas reforçam a viabilidade técnica do modelo, mas também oferecem insights valiosos para a melhoria contínua de práticas organizacionais no setor da construção. No campo teórico, o framework desenvolvido estruturou os FCS em seis dimensões fundamentais - Processos, Tecnologia, Pessoas, Organização/Estratégia, Política e Sustentabilidade. Esta abordagem amplia a compreensão da maturidade BIM, fornecendo diretrizes claras para transições entre níveis de maturidade e promovendo estratégias inovadoras para adoção do BIM.

5.1

Implicações práticas e teóricas

O modelo desenvolvido possui implicações estratégicas tanto na gestão organizacional quanto na evolução dos projetos de construção, alinhando-se aos princípios da I5.0: resiliência, centralidade no ser humano e sustentabilidade. Em termos de resiliência, baseia-se na DCV, permitindo que as organizações fortaleçam sua capacidade de adaptação e integrem o BIM com ferramentas de análise preditiva e otimização de processos, aprimorando a agilidade na tomada de decisões. No que se refere à centralidade no ser humano, o modelo destaca a importância do desenvolvimento de competências e da colaboração na adoção de tecnologias digitais, garantindo que a transformação digital valorize o papel dos profissionais e promova ambientes de trabalho mais eficientes. Por fim, a sustentabilidade é incorporada como um pilar essencial, integrando critérios ambientais e sociais por meio de abordagens multicritério e lógica fuzzy para embasar decisões estratégicas que reduzam impactos ambientais e otimizem o uso de recursos ao longo do ciclo de vida dos projetos. Em conjunto, o modelo viabiliza uma gestão digital mais sustentável, adaptável e centrada no ser humano, alinhada às diretrizes da I5.0.

5.2

Limitações do trabalho

Nesta seção, são discutidas as principais limitações identificadas na pesquisa. O escopo geográfico apresenta uma amostra limitada a oito projetos no contexto brasileiro que pode não representar completamente a diversidade do setor. A validação indica que o modelo requer maior validação em diferentes contextos organizacionais e geográficos para confirmar sua aplicabilidade universal. A implementação revela que a complexidade do modelo pode representar desafios para organizações menores ou com recursos limitados.

5.3

Sugestões de trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos, sugerem-se as seguintes linhas de pesquisa - Ampliação do escopo geográfico através de estudos comparativos em diferentes países, investigando a influência de fatores culturais e regulatórios na maturidade BIM.

Desenvolvimento de ferramentas automatizadas para aplicação do modelo e integração com tecnologias emergentes como IA e blockchain.

Aprofundamento da análise dos indicadores de sustentabilidade e desenvolvimento de métricas específicas para avaliação do impacto ambiental.

Realização de estudos longitudinais para avaliar a evolução da maturidade BIM e a eficácia das estratégias de transição entre níveis.

Investigação do impacto da cultura organizacional na maturidade BIM e sua relação com o desempenho organizacional.

Esta pesquisa estabelece bases sólidas para o desenvolvimento contínuo dos MMB, contribuindo para a transformação digital sustentável do setor da construção. As sugestões para pesquisas futuras indicam caminhos promissores para expandir e aprofundar o conhecimento nesta área em constante evolução.

Referências bibliográficas

- ABANDA, F. H.; VIDALAKIS, C.; OTI, A. H.; TAH, J. H. M. A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects. **Advances in Engineering Software**, [s. l.], v. 90, p. 183–201, 2015.
- ABBASIANJAHROMI, H.; AHANGAR, M.; GHAHREMANI, F. A Maturity Assessment Framework for Applying BIM in Consultant Companies. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 637–649, 2019.
- ABELA, J. A. **Las técnicas de análisis de contenido: una revisión actualizada**. [S. l.]: Fundación Centro de Estudios Andaluces, 2002. 2002.
- ABI-ZEID, I.; MARAIS, A. “MCDA-ULaval software for ELECTRE methods: Application to water source protection,”. **Laval University: EURO 2021 - Athens, Greece [PowerPoint slides]**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://mcda.fsa.ulaval.ca/wpcontent/uploads/2022/04/EURO-2021.pdf>.
- ADEKUNLE, S.; AIGBAVBOA, C. O.; EJOHWOMU, O.; THWALA, W. D.; MAHAMADU, A.-M. **A Building Information Modelling Maturity Model for Developing Countries**. [S. l.]: Taylor & Francis, 2023. 2023.
- AFONSO, R. A.; SILVA, W. M. D.; TOMAS, G. H. R. P.; GAMA, K.; OLIVEIRA, A.; ALVARO, A.; GARCIA, V. C. **Br-SCMM: Modelo Brasileiro de Maturidade para Cidades Inteligentes** Em: ANAIS DO IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SBSI 2013), 2013, Brasil. **Anais [...]**. Brasil: Sociedade Brasileira de Computação, 2013. p. 511–516. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi/article/view/5716>. Acesso em: 7 set. 2023.
- AGHIMIEN, D.; AIGBAVBOA, C. O.; OKE, A. E.; EDWARDS, D.; THWALA, W. D.; ROBERTS, C. J. Dynamic capabilities for digitalisation in the AECO sector – a scientometric review. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 1585–1608, 2021.
- AHMED, A. L.; KASSEM, M. A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 96, p. 103–127, 2018.

- AHN, Y. H.; KWAK, Y. H.; SUK, S. J. Contractors' Transformation Strategies for Adopting Building Information Modeling. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 05015005, 2016.
- AKBARI, S.; SHEIKHKHOSHKAR, M.; POUR RAHIMIAN, F.; EL HAOUZI, H. B.; NAJAFI, M.; TALEBI, S. Sustainability and building information modelling: Integration, research gaps, and future directions. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 163, p. 105420, 2024a.
- AKBARI, S.; SHEIKHKHOSHKAR, M.; POUR RAHIMIAN, F.; EL HAOUZI, H. B.; NAJAFI, M.; TALEBI, S. Sustainability and building information modelling: Integration, research gaps, and future directions. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 163, p. 105420, 2024b.
- AKDIL, K. Y.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. *Em*: USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre (org.). **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Cham: Springer International Publishing, 2018. (Springer Series in Advanced Manufacturing). p. 61–94. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4. Acesso em: 25 jul. 2023.
- AKHMETZHANOVA, B.; NADEEM, A.; HOSSAIN, M. A.; KIM, J. R. Clash Detection Using Building Information Modeling (BIM) Technology in the Republic of Kazakhstan. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 102, 2022.
- ALANKARAGE, S.; CHILESHE, N.; SAMARAWEERA, A.; RAMEEZDEEN, R.; EDWARDS, D. J. Organisational BIM maturity models and their applications: a systematic literature review. **Architectural Engineering and Design Management**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–19, 2022a.
- ALANKARAGE, S.; CHILESHE, N.; SAMARAWEERA, A.; RAMEEZDEEN, R.; EDWARDS, D. J. Organisational BIM maturity models and their applications: a systematic literature review. **Architectural Engineering and Design Management**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–19, 2022b.
- ALHAMAMI, A.; PETRI, I.; REZGUI, Y.; KUBICKI, S. Promoting Energy Efficiency in the Built Environment through Adapted BIM Training and Education. **Energies**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 2308, 2020.
- ALMARRI, K.; ALJARMAN, M.; BOUSSABAIN, H. Emerging contractual and legal risks from the application of building information modelling. **Engineering**,

- Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 26, n. 10, p. 2307–2325, 2019.
- ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J. R.; ROY, B. A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The Electre Tri-nC method. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 217, n. 3, p. 567–579, 2012.
- ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J. R.; ROY, B. Electre Tri-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 204, n. 3, p. 565–580, 2010.
- ALNAGGAR, A.; PITT, M. Lifecycle Exchange for Asset Data (LEAD): A proposed process model for managing asset dataflow between building stakeholders using BIM open standards. **Journal of Facilities Management**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 385–411, 2019.
- ALRESHIDI, E.; MOURSHED, M.; REZGUI, Y. Factors for effective BIM governance. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. Complete, n. 10, p. 89–101, 2017.
- ALRESHIDI, E.; MOURSHED, M.; REZGUI, Y. Requirements for cloud-based BIM governance solutions to facilitate team collaboration in construction projects. **Requirements Engineering**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 1–31, 2018.
- ALTURKI, A.; GABLE, G. G.; BANDARA, W. A Design Science Research Roadmap. *Em: SERVICE-ORIENTED PERSPECTIVES IN DESIGN SCIENCE RESEARCH*, 2011, Berlin, Heidelberg. **Anais [...]**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 107–123.
- ALVES, J.; LIMA, T. M.; GASPAR, P. D. Is Industry 5.0 a Human-Centred Approach? A Systematic Review. **Processes**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 193, 2023.
- ANNEX, A.; RULES, C. National BIM Standard-United States® Version 3. [s. l.], 2015.
- ANTWI-AFARI, M. F.; LI, H.; PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J. Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 91, p. 100–110, 2018.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

- ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 19–32, 2005.
- AYINLA, K. O.; ADAMU, Z. Bridging the digital divide gap in BIM technology adoption. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 25, n. 10, p. 1398–1416, 2018.
- AZHAR, S.; KHALFAN, M.; MAQSOOD, T. Building information modelling (BIM): now and beyond. **Construction Economics and Building**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 15–28, 2012.
- AZZOUZ, A.; COPPING, A.; SHEPHERD, P.; DUNCAN, A. **Using the Arup BIM maturity measure to demonstrate bim implementation in practice: ARCOM 2016** Em: 2016, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2016.
- BABATUNDE, S. O.; EKUNDAYO, D. O.; ADEKUNLE, A. O. **Analysis of BIM maturity level among AEC firms in developing countries : a case of Nigeria** Em: PROCEEDINGS OF THE 35TH ANNUAL ARCOM CONFERENCE, 2019, Leeds, UK. **Anais [...]**. Leeds, UK: Association of Researchers in Construction Management, 2019. p. 225–234. Disponível em: <http://www.arcom.ac.uk/conf-intro.php>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- BABBIE, E. R. **The Practice of Social Research**. [S. l.]: Cengage AU, 2020. 2020.
- BADAWY, A. Collaboration and BIM model maturity to produce green buildings as an organizational strategy. **HBRC Journal**, [s. l.], v. 16, p. 243–268, 2020.
- BANERJEE, A.; NAYAKA, R. R. A comprehensive overview on BIM-integrated cyber physical system architectures and practices in the architecture, engineering and construction industry. **Construction Innovation**, [s. l.], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/CI-02-2021-0029>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- BAPAT, H.; SARKAR, D.; GUJAR, R. Application of multi-criteria decision making for evaluation of key performance indicators of integrated project delivery and BIM model for an infrastructure transportation project in Western India. **International Journal of Construction Management**, [s. l.], v. 23, n. 12, p. 2077–2086, 2023.
- BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T. Design Principles and Prescriptions for Planning and Controlling Engineer-to-Order Industrialized Building Systems. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 24, p. 16822, 2022.

- BAUDRY, G.; MACHARIS, C.; VALLÉE, T. Range-based Multi-Actor Multi-Criteria Analysis: A combined method of Multi-Actor Multi-Criteria Analysis and Monte Carlo simulation to support participatory decision making under uncertainty. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 264, n. 1, p. 257–269, 2018.
- BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUSS, J. Developing Maturity Models for IT Management. **Business & Information Systems Engineering**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 213–222, 2009.
- BHATIA, P.; DIAZ-ELSAYED, N. Facilitating decision-making for the adoption of smart manufacturing technologies by SMEs via fuzzy TOPSIS. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 257, p. 108762, 2023.
- BOEHM, B. W. Verifying and Validating Software Requirements and Design Specifications. **IEEE Software**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 75–88, 1984.
- BÖES, J. S.; BARROS NETO, J. de P.; LIMA, M. M. X. de. BIM maturity model for higher education institutions. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 21, p. 131–150, 2021.
- BRAHIM, J.; YUSOFF, S. N. S.; NORDIN, R. M.; ROSLY, M. R. M.; MOHD, S. A narrative systematic review on existing building information modelling (BIM) maturity model. **AIP Conference Proceedings**, [s. l.], v. 2881, n. 1, p. 070001, 2023.
- BROEKHUIZEN, H.; GROOTHUIS-OUDSHOORN, C. G. M.; VAN TIL, J. A.; HUMMEL, J. M.; IJZERMAN, M. J. A Review and Classification of Approaches for Dealing with Uncertainty in Multi-Criteria Decision Analysis for Healthcare Decisions. **PharmacoEconomics**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 445–455, 2015.
- BÜYÜKÖZKAN, G.; GÜLER, M.; MUKUL, E. Evaluation of Supply Chain Analytics Maturity Level with a Hesitant Fuzzy MCDM Technique. *Em: INTELLIGENT AND FUZZY TECHNIQUES IN BIG DATA ANALYTICS AND DECISION MAKING*, 2020, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 1076–1084.
- CABEZAS, J. A. Abraham H. Maslow y la teoría holístico/dinámica de las necesidades: una concepción natural, objetiva y científica de la vida axiológica, ética y religiosa. **Cuadernos salmantinos de filosofía**, [s. l.], n. 15, p. 33–57, 1988.

- CAFASSO, D.; CALABRESE, C.; CASELLA, G.; BOTTANI, E.; MURINO, T. Framework for Selecting Manufacturing Simulation Software in Industry 4.0 Environment. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 15, p. 5909, 2020.
- CAIADO, R. G. G.; LIMA, G. B. A.; NASCIMENTO, D. L. de M.; NETO, J. V.; OLIVEIRA, R. A. M. de. GUIDELINES TO RISK MANAGEMENT MATURITY IN CONSTRUCTION PROJECTS. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 372–385, 2016.
- CAIADO, R. G. G.; MACHADO, E.; SANTOS, R. S.; THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F. Sustainable I4.0 integration and transition to I5.0 in traditional and digital technological organisations. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 207, p. 123582, 2024.
- CAIADO, R. G. G.; SCAVARDA, L. F.; GAVIÃO, L. O.; IVSON, P.; NASCIMENTO, D. L. de M.; GARZA-REYES, J. A. A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 231, p. 107883, 2021.
- CAO, D.; LI, H.; WANG, G.; LUO, X.; YANG, X.; TAN, D. Dynamics of Project-Based Collaborative Networks for BIM Implementation: Analysis Based on Stochastic Actor-Oriented Models. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 04016055, 2017.
- CATERINO, N.; NUZZO, I.; IANNIELLO, A.; VARCHETTA, G.; COSENZA, E. A BIM-based decision-making framework for optimal seismic retrofit of existing buildings. **Engineering Structures**, [s. l.], v. 242, p. 112544, 2021.
- CAVALCANTE DE SOUZA FEITOSA, I. S.; RIBEIRO CARPINETTI, L. C.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A supply chain risk management maturity model and a multi-criteria classification approach. **Benchmarking: An International Journal**, [s. l.], v. 28, n. 9, p. 2636–2655, 2021.
- CHADEGANI, A. A.; SALEHI, H.; YUNUS, M. M.; FARHADI, H.; FOOLADI, M.; FARHADI, M.; EBRAHIM, N. A. A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. **Asian Social Science**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. p18, 2013.
- CHAKRABARTI, A. A course for teaching design research methodology. **AI EDAM**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 317–334, 2010.
- CHAN, D. W. M.; OLAWUMI, T. O.; HO, A. M. L. Critical success factors for building information modelling (BIM) implementation in Hong Kong.

- Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 26, n. 9, p. 1838–1854, 2019.
- CHANG, Y.-T.; HSIEH, S.-H. A review of Building Information Modeling research for green building design through building performance analysis. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 1–40, 2020.
- CHANG, P.-T.; HUANG, L.-C.; LIN, H.-J. The fuzzy Delphi method via fuzzy statistics and membership function fitting and an application to the human resources. **Fuzzy Sets and Systems**, [s. l.], v. 112, n. 3, p. 511–520, 2000.
- CHANGE AGENTS AEC. BIM Excellence Performance Measurement: Corporate Services. **Melbourne, Australia: Change Agents AEC pty ltd**, [s. l.], 2013. Disponível em: https://changeagents.blogs.com/Public_Sharing/BIMe%20Excellence%20-%20Corporate%20Services%20brochure%20v30918.pdf.
- CHARI, A.; NIEDENZU, D.; DESPEISSE, M.; MACHADO, C. G.; AZEVEDO, J. D.; BOAVIDA-DIAS, R.; JOHANSSON, B. Dynamic capabilities for circular manufacturing supply chains—Exploring the role of Industry 4.0 and resilience. **Business Strategy and the Environment**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 2500–2517, 2022.
- CHEN, Y.; DIB, H.; COX, R. F.; SHAURETTE, M.; VORVOREANU, M. Structural Equation Model of Building Information Modeling Maturity. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 142, n. 9, p. 04016032, 2016.
- CHEN, Y.; HUANG, D.; LIU, Z.; OSMANI, M.; DEMIAN, P. Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Building Development within the Smart City. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 16, p. 10028, 2022.
- CHEN, C.-T.; OVA, A.; HUNG, W.-Z. A MCDM Method for Measuring Digital Capability Maturity Based on Linguistic Variables and Fuzzy Integral. *Em: INTELLIGENT AND FUZZY SYSTEMS*, 2022, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 579–587.
- CHEN, L.; PAN, W. A BIM-integrated Fuzzy Multi-criteria Decision Making Model for Selecting Low-Carbon Building Measures. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 118, Defining the future of sustainability and resilience in design, engineering and construction, p. 606–613, 2015.

- CHEN, Z.-S.; WANG, Z.-R.; DEVECI, M.; DING, W.; PEDRYCZ, W.; SKIBNIEWSKI, M. J. Optimization-based probabilistic decision support for assessing building information modelling (BIM) maturity considering multiple objectives. **Information Fusion**, [s. l.], v. 102, p. 102026, 2024.
- CHENG, C. T.; OU, C. P.; CHAU, K. W. Combining a fuzzy optimal model with a genetic algorithm to solve multi-objective rainfall–runoff model calibration. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 268, n. 1, p. 72–86, 2002.
- CHONG, H.-Y.; LEE, C.-Y.; WANG, X. A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, p. 4114–4126, 2017.
- COLQUHOUN, H. L.; LEVAC, D.; O'BRIEN, K. K.; STRAUS, S.; TRICCO, A. C.; PERRIER, L.; KASTNER, M.; MOHER, D. Scoping reviews: time for clarity in definition, methods, and reporting. **Journal of Clinical Epidemiology**, [s. l.], v. 67, n. 12, p. 1291–1294, 2014.
- COSTA, A. S.; FIGUEIRA, J. R.; BORBINHA, J. A multiple criteria nominal classification method based on the concepts of similarity and dissimilarity. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 271, n. 1, p. 193–209, 2018a.
- COSTA, A. S.; GOVINDAN, K.; FIGUEIRA, J. R. Supplier classification in emerging economies using the ELECTRE TRI-nC method: A case study considering sustainability aspects. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 201, p. 925–947, 2018b.
- CRESWELL, J. W.; POTH, C. N. **Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches**. [S. l.]: SAGE Publications, 2016. 2016.
- DAKHIL, A.; ALSHAWI, M. Client's Role in Building Disaster Management through Building Information Modelling. **Procedia Economics and Finance**, [s. l.], v. 18, 4th International Conference on Building Resilience, Incorporating the 3rd Annual Conference of the ANDROID Disaster Resilience Network, 8th – 11th September 2014, Salford Quays, United Kingdom, p. 47–54, 2014.
- DAKHIL, A.; ALSHAWI, M.; UNDERWOOD, J. BIM Client Maturity: Literature Review. **En 12th International Post-Graduate Research Conference**, [s. l.], 2015.

- DAKHIL, A.; UNDERWOOD, J.; AL SHAWI, M. Critical success competencies for the BIM implementation process: UK construction clients. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 24, p. 80–94, 2019.
- DANG, P.; NIU, Z.; ZHANG, G.; GAO, S.; HOU, L. Developing a Fuzzy Multi-Criteria Evaluation Model for Prefabrication Development Maturity of Construction Firms. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 222397–222409, 2020.
- DATTA, S. D.; TAYEH, B. A.; HAKEEM, I. Y.; ABU AISHEH, Y. I. Benefits and Barriers of Implementing Building Information Modeling Techniques for Sustainable Practices in the Construction Industry—A Comprehensive Review. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 16, p. 12466, 2023.
- DE ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. [S. l.]: Atlas SA, 2013. 2013.
- DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V. **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. Cham: Springer International Publishing, 2015. 2015.(International Series in Operations Research & Management Science). v. 231. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-17969-8>. Acesso em: 23 dez. 2023.
- DE CAROLIS, A.; MACCHI, M.; KULVATUNYOU, B.; BRUNDAGE, M. P.; TERZI, S. Maturity Models and tools for enabling smart manufacturing systems: Comparison and reflections for future developments. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, [s. l.], v. 517, p. 23–35, 2017.
- DE CAROLIS, Anna; MACCHI, M.; KULVATUNYOU, B.; BRUNDAGE, M. P.; TERZI, S. **Maturity Models and Tools for Enabling Smart Manufacturing Systems: Comparison and Reflections for Future Developments** *Em: PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT AND THE INDUSTRY OF THE FUTURE*, 2017, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 23–35.
- DE CARVALHO, P. V. R.; DOS SANTOS GRECCO, C. H.; DE SOUZA, A. M.; HUBER, G. J.; GOMES, J. O. A fuzzy model to assess disaster risk reduction maturity level based on the Hyogo Framework for Action. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 83, n. 1, p. 309–326, 2016.
- DE PAULA VIDAL, G. H.; CAIADO, R. G. G.; SCAVARDA, L. F.; IVSON, P.; GARZA-REYES, J. A. Decision support framework for inventory management

- combining fuzzy multicriteria methods, genetic algorithm, and artificial neural network. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 174, p. 108777, 2022.
- DEAN, M. Chapter Six - Multi-criteria analysis. Em: MOUTER, Niek (org.). **Advances in Transport Policy and Planning**. [S. l.]: Academic Press, 2020. (Standard Transport Appraisal Methods). v. 6, p. 165–224. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2543000920300147>. Acesso em: 23 dez. 2023.
- DEMIRKESEN, S.; TEZEL, A. Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 1470–1503, 2022.
- DENG, M.; MENASSA, C. C.; KAMAT, V. R. From BIM to digital twins: a systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 26, p. 58–83, 2021.
- DENNIS, A. R.; RENNECKER, J. A.; HANSEN, S. Invisible Whispering: Restructuring Collaborative Decision Making with Instant Messaging. **Decision Sciences**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 845–886, 2010.
- DI PASQUALE, V.; MIRANDA, S.; NEUMANN, W. P. Ageing and human-system errors in manufacturing: a scoping review. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 58, n. 15, p. 4716–4740, 2020.
- DIAZ SCHERY, C.; CAIADO, R.; AGUILAR VARGAS, S.; RODRIGUEZ VIGNON, Y. Paths to BIM-based digital transformation: a bibliometric and systematic review of critical factors. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], 2024.
- DIJKMAN, J. G.; VAN HAERINGEN, H.; DE LANGE, S. J. Fuzzy numbers. **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, [s. l.], v. 92, n. 2, p. 301–341, 1983.
- DIKHANBAYEVA, D.; SHAIKHOLLA, S.; SULEIMAN, Z.; TURKYILMAZ, A. Assessment of Industry 4.0 Maturity Models by Design Principles. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 23, p. 9927, 2020.
- DING, Z.; LIU, S.; LIAO, L.; ZHANG, L. A digital construction framework integrating building information modeling and reverse engineering technologies for renovation projects. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 102, p. 45–58, 2019.

- DONG, Y.; NG, S. T.; LIU, P. Towards the principles of life cycle sustainability assessment: An integrative review for the construction and building industry. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 95, p. 104604, 2023.
- DU, Y.; ZHOU, H.; YUAN, Y.; XUE, H. Exploring the Moral Hazard Evolutionary Mechanism for BIM Implementation in an Integrated Project Team. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 20, p. 5719, 2019.
- DU, J.; ZOU, Z.; SHI, Y.; ZHAO, D. Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 85, p. 51–64, 2018.
- DUNEL, M. P.; MOREIRA, L. C. de S.; CHECCUCCI, É. de S.; MELO, R. S. S. de. Maturidade BIM na Universidade Federal da Bahia. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, [s. l.], v. 19, p. 1–12, 2022.
- EASTERBROOK, S.; SINGER, J.; STOREY, M.-A.; DAMIAN, D. Selecting Empirical Methods for Software Engineering Research. *Em*: SHULL, Forrest; SINGER, Janice; SJØBERG, Dag I. K. (org.). **Guide to Advanced Empirical Software Engineering**. London: Springer, 2008. p. 285–311. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-84800-044-5_11. Acesso em: 9 jun. 2024.
- EASTMAN, C. M. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2011. 2011.
- EASTMAN, C. M.; EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2011. 2011.
- EC. **Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry - European Commission Industry 5.0**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-jan-07_en. Acesso em: 12 mar. 2024.
- EDIRISINGHE, R. Digital skin of the construction site: Smart sensor technologies towards the future smart construction site. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 184–223, 2018.

- EDIRISINGHE, R.; PABLO, Z.; ANUMBA, C.; TERENO, S. An Actor–Network Approach to Developing a Life Cycle BIM Maturity Model (LCBMM). **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 23, p. 13273, 2021.
- EDWARDS, W.; NEWMAN, J. Multiattribute Evaluation. **(No Title)**, [s. l.], 1982. Disponível em: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1363951795011758720>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- ELMUALIM, A.; GILDER, J. BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation. **Architectural Engineering and Design Management**, [s. l.], v. 10, n. 3–4, p. 183–199, 2014.
- FERRAZ, C.; LOURES, E. R.; DESCHAMPS, F. BIM Maturity Models Evaluated by Design Principles. *Em: TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING FOR COMPLEX SOCIO-TECHNICAL SYSTEMS – REAL-LIFE APPLICATIONS*. [S. l.]: IOS Press, 2020. p. 504–513. Disponível em: <https://ebooks.iospress.nl/doi/10.3233/ATDE200111>. Acesso em: 19 set. 2023.
- FLECHSIG, C.; LOHMER, J.; VOSS, R.; LASCH, R. BUSINESS PROCESS MATURITY MODEL FOR DIGITAL TRANSFORMATION: AN ACTION DESIGN RESEARCH STUDY ON THE INTEGRATION OF INFORMATION TECHNOLOGY. **International Journal of Innovation Management**, [s. l.], v. 26, n. 03, p. 2240012, 2022.
- FLEISS, J. L. Measuring nominal scale agreement among many raters. **Psychological Bulletin**, USv. 76, n. 5, p. 378–382, 1971.
- FRANZ, B.; MESSNER, J. Evaluating the Impact of Building Information Modeling on Project Performance. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 04019015, 2019.
- FRASER, P.; MOULTRIE, J.; GREGORY, M. The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. *Em: IEEE INTERNATIONAL ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE, 2002*, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2002. p. 244–249 v.1.
- FRIESE, S. Qualitative Data Analysis with ATLAS.ti. [s. l.], p. 1–344, 2019.
- GIEL, B.; ISSA, R. R. A. Framework for Evaluating the BIM Competencies of Facility Owners. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 04015024, 2016.
- GIEL, B.; ISSA, R. R. A. Synthesis of Existing BIM Maturity Toolsets to Evaluate Building Owners. [s. l.], p. 451–458, 2013.

- GÖKALP, E.; MARTINEZ, V. Digital transformation maturity assessment: development of the digital transformation capability maturity model. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 60, n. 20, p. 6282–6302, 2022.
- GÖKALP, E.; ŞENER, U.; EREN, P. E. **Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM Em: SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT AND CAPABILITY DETERMINATION**, 2017, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 128–142.
- GRABOWSKA, S.; SANIUK, S.; GAJDZIK, B. Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. **Scientometrics**, [s. l.], v. 127, n. 6, p. 3117–3144, 2022.
- GUEST, G.; NAMEY, E.; MCKENNA, K. How Many Focus Groups Are Enough? Building an Evidence Base for Nonprobability Sample Sizes. **Field Methods**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 3–22, 2017.
- GUO, X.; TIAN, C.; CHEN, Y.; ZHANG, J. Case Study of Building Information Modeling Implementation in Infrastructure Projects. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 2676, n. 2, 2022. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/1880532>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- GURMU, A.; SHOOSHTARIAN, S.; MAHMOOD, M. N.; HOSSEINI, M. R.; SHRESHTA, A.; MARTEK, I. The state of play regarding the social sustainability of the construction industry: a systematic review. **Journal of Housing and the Built Environment**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 595–624, 2022.
- HADDAD, A. N.; SILVA, A. B.; HAMMAD, A. W. A.; NAJJAR, M. K.; VAZQUEZ, E. G.; TAM, V. W. Y. An integrated approach of building information modelling and life cycle assessment (BIM-LCA) for gas and solar water heating systems. **International Journal of Construction Management**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–17, 2022.
- HÄKKINEN, T.; BELLONI, K. Barriers and drivers for sustainable building. **Building Research & Information**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 239–255, 2011.
- HARUNA, A.; SHAFIQ, N.; MONTASIR, O. A. Building information modelling application for developing sustainable building (Multi criteria decision making approach). **Ain Shams Engineering Journal**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 293–302, 2021.
- HEIN-PENSEL, F.; WINKLER, H.; BRÜCKNER, A.; WÖLKE, M.; JABS, I.; MAYAN, I. J.; KIRSCHENBAUM, A.; FRIEDRICH, J.; ZINKE-WEHLMANN,

- C. Maturity assessment for Industry 5.0: A review of existing maturity models. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 66, p. 200–210, 2023.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004a.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004b.
- HONG, Y.; HAMMAD, A. W. A.; NEZHAD, A. A. Optimising the implementation of BIM: A 2-stage stochastic programming approach. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 136, p. 104170, 2022.
- HOSSAIN, Md. U.; NG, S. T.; ANTWI-AFARI, P.; AMOR, B. Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 130, p. 109948, 2020.
- INDIANA UNIVERSITY ARCHITECT'S OFFICE. IU BIM Standards 2015. [s. l.], 2009. Disponível em: <http://www.iu.edu/~vpcpf/consultant-contractor/standards/bim-standards.shtml>.
- IRIZARRY, J.; ZOLFAGHARIAN, S.; NOURBAKHS, M.; ZIN, R. M.; JUSOFF, K.; ZAKARIA, R. The Development of a Sustainable-Construction Planning System. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, [s. l.], v. 17, n. 10, p. 162–178, 2012.
- IVANOV, D. The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 61, n. 5, p. 1683–1695, 2023.
- JALILZADEHAZHARI, E.; JOHANSSON, P. Integrating BIM, Optimization and a Multi-criteria Decision-Making Method in Building Design Process. *Em: ADVANCES IN INFORMATICS AND COMPUTING IN CIVIL AND CONSTRUCTION ENGINEERING*, 2019, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 359–369.
- JALILZADEHAZHARI, E.; VADIEE, A.; JOHANSSON, P. Achieving a Trade-Off Construction Solution Using BIM, an Optimization Algorithm, and a Multi-Criteria Decision-Making Method. **Buildings**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 81, 2019.
- JATO-ESPINO, D.; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J.; ANDRÉS-VALERI, V. C.; BALLESTER-MUÑOZ, F. A fuzzy stochastic multi-criteria model for the

- selection of urban pervious pavements. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 41, n. 15, p. 6807–6817, 2014.
- JIN, Z.; GAMBATESE, J.; LIU, D.; DHARMAPALAN, V. Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 26, n. 11, p. 2637–2654, 2019.
- JOBLOT, L.; PAVIOT, T.; DENEUX, D.; LAMOURI, S. Building Information Maturity Model specific to the renovation sector. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 101, p. 140–159, 2019.
- JOHANNESSON, P.; PERJONS, E. **An Introduction to Design Science**. [S. l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2014. 2014.
- JUNG, S.; CHA, H. S.; JIANG, S. Developing a Building Fire Information Management System Based on 3D Object Visualization. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 772, 2020.
- JUNG, W.; LEE, G. Slim BIM Charts for Rapidly Visualizing and Quantifying Levels of BIM Adoption and Implementation. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 04015072, 2016.
- KAM, C.; SENARATNA, D.; MCKINNEY, B.; XIAO, Y.; SONG, M. The VDC scorecard: Formulation and validation. **Center for Integrated Facility Engineering: Stanford University**, [s. l.], 2013.
- KASSEM, M.; SUCCAR, B. Macro BIM adoption: Comparative market analysis. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 81, p. 286–299, 2017.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs**. [S. l.]: Cambridge University Press, 1993. 1993.
- KEUNG, C. C. W.; KIM, J. I.; ONG, Q. M. Developing a BIM-Based MUVR Treadmill System for Architectural Design Review and Collaboration. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 11, n. 15, p. 6881, 2021.
- KHAN, S. A.; KUSI-SARPONG, S.; ARHIN, F. K.; KUSI-SARPONG, H. Supplier sustainability performance evaluation and selection: A framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 205, p. 964–979, 2018.
- KHOSROWSHAHI, F.; ARAYICI, Y. Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 610–635, 2012.

- KIM, J. I.; KIM, J.; FISCHER, M.; ORR, R. BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 58, p. 95–108, 2015.
- KLIR, G. J.; FOLGER, T. A. Fuzzy sets, uncertainty, and information. **Prentice-Hall**, [s. l.], 1987. Disponível em: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000794713454080>. Acesso em: 25 dez. 2023.
- KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall PTR, 1995. 1995.
- KOLUKISA TARHAN, A.; GAROUSI, V.; TURETKEN, O.; SÖYLEMEZ, M.; GAROSI, S. Maturity assessment and maturity models in health care: A multivocal literature review. **DIGITAL HEALTH**, [s. l.], v. 6, p. 2055207620914772, 2020.
- KRISTIANSEN, E.; SOLEM, B. A. A.; DILLE, T.; HOULIHAN, B. Stakeholder Management of Temporary Sport Event Organizations. **Event Management**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 619–639, 2021.
- KRONTHALER, F.; ZÖLLNER, S. **Data Analysis with RStudio: An Easygoing Introduction**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2021. 2021. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-62518-7>. Acesso em: 14 fev. 2024.
- KRUEGER, R. A.; CASEY, M. A. Focus Group Interviewing. *Em*: HANDBOOK OF PRACTICAL PROGRAM EVALUATION. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.wiley-n9781119171386-p-ii-ch20>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- KRYGIEL, E.; NIES, B. **Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2008. 2008.
- KUDRYAVTSEVA, V. A.; NIKISHINA, O. V.; VASILEVA, N. V. Features of digital transformation in the construction industry. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 880, n. 1, p. 012080, 2020.
- KUECHLER, B.; VAISHNAVI, V. Promoting relevance in IS research: an informing system for design science research. **Informing Science: the International Journal of an Emerging Transdiscipline**, [s. l.], v. 14, p. 125–139, 2011.
- KUMAR, A.; NADEEM, M.; SHAMEEM, M. Prioritization of DevOps Maturity models using Fuzzy TOPSIS. *Em*: PROCEEDINGS OF THE 27TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING, 2023, New York, NY, USA. **Anais [...]**. New

- York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. p. 438–443.
Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3593434.3594241>. Acesso em: 27 nov. 2023.
- LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: a research method to production engineering. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 20, p. 741–761, 2013.
- LAMI, I. M.; MECCA, B. Assessing Social Sustainability for Achieving Sustainable Architecture. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 142, 2021.
- LEE, C. C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 404–418, 1990.
- LEE, S. M.; EOM, H. B. Multiple-criteria decision support systems: The powerful tool for attacking complex, unstructured decisions. **Systems practice**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 51–65, 1990.
- LEE, Y.-C.; HONG, T.-P.; WANG, T.-C. Multi-level fuzzy mining with multiple minimum supports. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 459–468, 2008.
- LEI, Y.; DONG, L. Building sustainability assessment model based on life cycle cost analysis and BIM technology. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05272-2>. Acesso em: 6 nov. 2023.
- LI, X.; LU, W.; XUE, F.; WU, L.; ZHAO, R.; LOU, J.; XU, J. Blockchain-Enabled IoT-BIM Platform for Supply Chain Management in Modular Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 148, n. 2, p. 04021195, 2022.
- LI, X.; YANG, X.; FENG, K.; LIU, C. Automatic monitoring the risk coupling of foundation pits: integrated point cloud, computer vision and Bayesian networks approach. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2024. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ecam-02-2024-0149/full/html>. Acesso em: 24 dez. 2024.
- LIANG, C.; LU, W.; ROWLINSON, S.; ZHANG, X. Development of a Multifunctional BIM Maturity Model. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 142, n. 11, p. 06016003, 2016.

- LIEBRECHT, C.; JACOB, A.; KUHNLE, A.; LANZA, G. Multi-criteria Evaluation of Manufacturing Systems 4.0 under Uncertainty. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 63, Manufacturing Systems 4.0 – Proceedings of the 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, p. 224–229, 2017.
- LIMA, L. de O.; CATAI, R. E.; SCHEER, S. Análise de modelos de maturidade para medição da implementação do Building Information Modeling (BIM). **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 133–147, 2021.
- LINHART, A.; KLAUS, C.; RÖGLINGER, M. Maturing maturity models – a methodological extension using the analytical hierarchy process and Google PageRank. **Journal of Decision Systems**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 307–327, 2017.
- LOZANO, F.; JURADO, J. C.; LOZANO-GALANT, J. A.; DE LA FUENTE, A.; TURMO, J. Integration of BIM and Value Model for Sustainability Assessment for application in bridge projects. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 152, p. 104935, 2023.
- LU, W.; CHEN, K.; ZETKULIC, A.; LIANG, C. Measuring building information modeling maturity: a Hong Kong case study. **International Journal of Construction Management**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 299–311, 2021.
- LU, Y.; WU, Z.; CHANG, R.; LI, Y. Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 83, p. 134–148, 2017.
- MA, G.; TAN, S.; SHANG, S. The Evaluation of Building Fire Emergency Response Capability Based on the CMM. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 16, n. 11, p. 1962, 2019.
- MAGALHÃES, C. R.; SALGADO, M. S.; SANTOS, E. T. Automação de um instrumento de avaliação de maturidade BIM. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 27–39, 2023.
- MAHMOUD, S.; ZAYED, T.; FAHMY, M. Development of sustainability assessment tool for existing buildings. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 44, p. 99–119, 2019.
- MÅNSSON, D.; LINDAHL, G. BIM performance and capability. *Em: DELIVERING VALUE WITH BIM*. [S. l.]: Routledge, 2016.
- MARESCHAL, B.; BRANS, J. P.; VINCKE, P. **Prométhée: a new family of outranking methods in multicriteria analysis**. [S. l.]: ULB -- Université Libre de Bruxelles, 1984. ULB Institutional Repository. Disponível em:

- https://econpapers.repec.org/paper/ulbulbeco/2013_2f9305.htm. Acesso em: 29 jan. 2024.
- MARINELLI, M. From Industry 4.0 to Construction 5.0: Exploring the Path towards Human–Robot Collaboration in Construction. **Systems**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 152, 2023.
- MARTINS, H.; HENRIQUES, C. O.; FIGUEIRA, J. R.; SILVA, C. S.; COSTA, A. S. Assessing policy interventions to stimulate the transition of electric vehicle technology in the European Union. **Socio-Economic Planning Sciences**, [s. l.], v. 87, p. 101505, 2023.
- MARX, F.; WORTMANN, F.; MAYER, J. H. A Maturity Model for Management Control Systems. **Business & Information Systems Engineering**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 193–207, 2012.
- MAYRING, P. **Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution**. Klagenfurt: [s. n.], 2014. 2014.
- MCCUEN, T. L.; SUERMANN, P. C.; KROGULECKI, M. J. Evaluating Award-Winning BIM Projects Using the National Building Information Model Standard Capability Maturity Model. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 224–230, 2012.
- MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial**, New York, NYv. 83, n. 3, p. 345–377, 1995.
- METTLER, T.; ROHNER, P.; WINTER, R. Towards a Classification of Maturity Models in Information Systems. *Em: MANAGEMENT OF THE INTERCONNECTED WORLD*, 2010, Heidelberg. **Anais [...]**. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2010. p. 333–340.
- MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 43, p. 84–91, 2014.
- MITTAL, S.; KHAN, M. A.; ROMERO, D.; WUEST, T. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 49, p. 194–214, 2018.
- MOHAMMED, A. B. Applying BIM to achieve sustainability throughout a building life cycle towards a sustainable BIM model. **International Journal of Construction Management**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 148–165, 2022a.

- MOHAMMED, A. B. Applying BIM to achieve sustainability throughout a building life cycle towards a sustainable BIM model. **International Journal of Construction Management**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 148–165, 2022b.
- MOLLASALEHI, S.; ABOUMOEMEN, A. A.; RATHNAYAKE, A.; FLEMING, A. J.; UNDERWOOD, J. Development of an integrated BIM and lean maturity model. *Em: PROCEEDINGS IGLC 26 - CHENNAI, INDIA 2018*, 2018, Chennai, India. **Anais [...]**. Chennai, India: IGLC, 2018. p. 1217–1228. Disponível em: <https://doi.org/10.24928/2018/0507>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, [s. l.], v. 106, n. 1, p. 213–228, 2016.
- MONTIEL-SANTIAGO, F. J.; HERMOSO-ORZÁEZ, M. J.; TERRADOS-CEPEDA, J. Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 14, p. 5731, 2020.
- MOREIRA, M. Â. L.; GOMES, C. F. S.; DOS SANTOS, M.; DO CARMO SILVA, M.; ARAUJO, J. V. G. A. **PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Modeling Proposal: Multicriteria Evaluation of Drones for Use in Naval Warfare** *Em: INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT*, 2020, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 381–393.
- MORENTE-MOLINERA, J. A.; WU, X.; MORFEQ, A.; AL-HMOUZ, R.; HERRERA-VIDEIRA, E. A novel multi-criteria group decision-making method for heterogeneous and dynamic contexts using multi-granular fuzzy linguistic modelling and consensus measures. **Information Fusion**, [s. l.], v. 53, p. 240–250, 2020.
- MORGAN, D. L. Focus Groups. **Annual Review of Sociology**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 129–152, 1996.
- MORGAN, D. Snowball Sampling. *Em: THE SAGE ENCYCLOPEDIA OF QUALITATIVE RESEARCH METHODS*. L. Givened. Thousand Oaks: SAGE Publications Inc, 2008. v. 2, p. 816–817. Disponível em: <https://www.scrip.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1890086>.
- MOVAFFAGHI, H.; YITMEN, I. Framework for Dynamic Circular Economy in the Building Industry: Integration of Blockchain Technology and Multi-Criteria Decision-Making Approach. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 22, p. 15914, 2023.

- MUNIR; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W.; FINNEGAN, S.; MEDA, P. Development of a BIMAsset Maturity Model. *Em*: 2019, Newcastle. **Anais [...]**. Newcastle: University of Northumbria, 2019. p. 360–368. Disponível em: Acesso em: 18 abr. 2023.
- MUSARAT, M. A.; IRFAN, M.; ALALOUL, W. S.; MAQSOOM, A.; GHUFRAN, M. A Review on the Way Forward in Construction through Industrial Revolution 5.0. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 18, p. 13862, 2023.
- NASCIMENTO, D. L. de M.; QUELHAS, O. L. G.; MOYANO-FUENTES, J.; TORTORELLA, G. L.; MAQUEIRA, J. M. Circular value stream mapping 4.0: Proposed general model and application to a digital 3D printing recycling factory. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 34, p. 600–612, 2022.
- NING, X.; QI, J.; WU, C.; WANG, W. Reducing noise pollution by planning construction site layout via a multi-objective optimization model. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 222, p. 218–230, 2019.
- OKOYE, P. U.; ODESOLA, I. A.; OKOLIE, K. C. Barriers to Sustainable Construction Practices (Case Study: The Role of National Culture). **International Journal of Architecture and Urban Development**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 5–20, 2021.
- OLANIPEKUN, A. O.; SUTRISNA, M. Facilitating Digital Transformation in Construction—A Systematic Review of the Current State of the Art. **Frontiers in Built Environment**, [s. l.], v. 7, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2021.660758>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M. Development of a benchmarking model for BIM implementation in developing countries. **Benchmarking: An International Journal**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 1210–1232, 2019.
- OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M.; WONG, J. K. W. Evolution in the intellectual structure of BIM research: a bibliometric analysis. **Journal of Civil Engineering and Management**, [s. l.], v. 23, n. 8, p. 1060–1081, 2017.
- OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M.; WONG, J. K. W.; CHAN, A. P. C. Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 20, p. 60–71, 2018.

- OLIVEIRA, M. F. de. Roteiro para implementação BIM (Building Information Modeling) com foco em modelos de maturidade. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/30694>. Acesso em: 19 ago. 2023.
- OMER, M. M.; MOHD-EZAZEE, N. M. A.; LEE, Y. S.; RAJABI, M. S.; RAHMAN, R. A. Constructive and Destructive Leadership Behaviors, Skills, Styles and Traits in BIM-Based Construction Projects. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 12, p. 2068, 2022.
- OPOKU, A.; FORTUNE, C. Organizational learning and sustainability in the construction industry. **The Built & Human Environment Review**, [s. l.], v. 4, n. Special Issue 1, p. 98–107, 2011.
- O'REILLY, T. **What is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software** Versão 1008839. Rochester, NY: [s. n.], 2007. SSRN Scholarly Paper. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/abstract=1008839>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- OTHMAN, I.; AL-ASHMORI, Y. Y.; RAHMAWATI, Y.; MUGAHED AMRAN, Y. H.; AL-BARED, M. A. M. The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia. **Ain Shams Engineering Journal**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 455–463, 2021.
- OZORHON, B.; KARAHAN, U. Critical Success Factors of Building Information Modeling Implementation. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 04016054, 2017.
- PARK, S.-Y.; SHON, C.; KWON, O. Y.; YOON, T. Y.; KWON, I. A qualitative thematic content analysis of medical students' essays on professionalism. **BMC Medical Education**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 79, 2017.
- PAULK, M. C.; CURTIS, B.; CHRISSIS, M. B.; WEBER, C. V. Capability maturity model, version 1.1. **IEEE Software**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 18–27, 1993.
- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2007. 2007.
- PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.
- PEÑA, A.; BONET, I.; LOCHMULLER, C.; TABARES, M. S.; PIEDRAHITA, C. C.; SÁNCHEZ, C. C.; GIRALDO MARÍN, L. M.; GÓNGORA, M.; CHICLANA, F. A fuzzy ELECTRE structure methodology to assess big data maturity in healthcare SMEs. **Soft Computing**, [s. l.], v. 23, n. 20, p. 10537–10550, 2019.

- PENNYPACKER, J. S.; GRANT, K. P. Project Management Maturity: An Industry Benchmark. **Project Management Journal**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 4–11, 2003.
- PEREIRA, M. H.; BRAGA, J. L.; ZAIDAN, F. H.; DE CASTRO LEAL, A. L. Adoção do BIM nas empresas de Arquitetura, Engenharia e Construção no estado de Minas Gerais: uma avaliação por nível de maturidade. **Exacta**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/20007>. Acesso em: 7 set. 2023.
- PEZESHKI, Z.; IVARI, S. A. S. Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline. **Archives of Computational Methods in Engineering**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 273–312, 2018.
- PINTO, F. S.; COSTA, A. S.; FIGUEIRA, J. R.; MARQUES, R. C. The quality of service: An overall performance assessment for water utilities. **Omega**, [s. l.], v. 69, p. 115–125, 2017.
- PÖPPELBUSS, J.; RÖGLINGER, M. **What makes a useful maturity model? a framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management** *Em*: 2011, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/What-makes-a-useful-maturity-model-a-framework-of-P%C3%B6ppelbu%C3%9F-R%C3%B6glinger/39ad3e71cd83974cf9a9cddae4e84075a49f356e>. Acesso em: 2 nov. 2023.
- POWELL, D. J.; LAUBENGAIER, D. A.; TORTORELLA, G. L.; SAABYE, H.; ANTONY, J.; CAGLIANO, R. Digitalization in lean manufacturing firms: a cumulative capability development perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, [s. l.], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-05-2023-0414>. Acesso em: 6 maio 2024.
- PURVIS, B.; MAO, Y.; ROBINSON, D. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. **Sustainability Science**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 681–695, 2019.
- RABIEE, M.; ASLANI, B.; REZAEI, J. A decision support system for detecting and handling biased decision-makers in multi criteria group decision-making problems. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 171, p. 114597, 2021.
- RAHIM, N. S. A.; ISMAIL, S.; SUBRAMANIAM, C.; ABDULLAH HABIB, S. N. H.; DURDYEV, S. Building Information Modelling Strategies in Sustainable

- Housing Construction Projects in Malaysia. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 2313, 2023.
- RAJABI, M. S.; RADZI, A. R.; REZAEIASHTIANI, M.; FAMILI, A.; RASHIDI, M. E.; RAHMAN, R. A. Key Assessment Criteria for Organizational BIM Capabilities: A Cross-Regional Study. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 1013, 2022.
- RAMOS-HURTADO, J.; MUÑOZ-LA RIVERA, F.; JANELA), L. para site externo (esse link será aberto em uma nova; MORA-SERRANO, J.; JANELA), L. para site externo (esse link será aberto em uma nova; DERAEMAERKER, A.; VALERO, I. Proposal for the Deployment of an Augmented Reality Tool for Construction Safety Inspection. **Buildings**, Basel, Switzerlandv. 12, n. 4, 2022. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/2652961620/abstract/36A0862BE39474BPQ/1>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- RASHIDIAN, S.; DROGEMULLER, R.; OMRANI, S. The compatibility of existing BIM maturity models with lean construction and integrated project delivery. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 27, p. 496–511, 2022.
- RIDDER, H.-G. The theory contribution of case study research designs. **Business Research**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 281–305, 2017.
- RODRÍGUEZ, R. M.; LABELLA, Á.; MARTÍNEZ, L. An Overview on Fuzzy Modelling of Complex Linguistic Preferences in Decision Making. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, [s. l.], v. 9, n. sup1, p. 81–94, 2016.
- RÖGLINGER, M.; PÖPPELBUSS, J.; BECKER, J. Maturity models in business process management. **Business Process Management Journal**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 328–346, 2012.
- ROSEMANN, M.; DE BRUIN, T. Towards a Business Process Management Maturity Model. Em: RAJOLA, F.; AVISON, D.; WINTER, R.; BECKER, J.; EIN-DOR, P.; BARTMANN, D.; BODENDORF, F.; WEINHARDT, C.; KALLINIKOS, J. (org.). **ECIS 2005 Proceedings of the Thirteenth European Conference on Information Systems**. CD Rom: Verlag and the London School of Economics, 2005. p. 1–12. Disponível em: <https://eprints.qut.edu.au/25194/>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2005. 2005.

- ROSSANA. BIM maturity levels. *Em*: TRACE SOFTWARE. 5 mar. 2019. Disponível em: <https://www.trace-software.com/bim-maturity-levels/>. Acesso em: 2 nov. 2023.
- ROY, B. Classement et choix en présence de points de vue multiples. **Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle. Série verte**, [s. l.], v. 2, n. V1, p. 57–75, 1968.
- ROY, B. ELECTRE III: Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. **Cahiers du CERO**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 3–24, 1978.
- ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. [S. l.]: Springer Science & Business Media, 1996. 1996.
- ROY, B.; BERTIER, P. **La méthode ELECTRE II: Une application au media-planning**. In: ROSS, M. (ed.) Operational Research. [S. l.: s. n.], 1973. 1973.(, v. 291–302). v. 72.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.
- SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2018. 2018.
- SAIEG, P.; SOTELINO, E. D.; NASCIMENTO, D.; CAIADO, R. G. G. Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 174, p. 788–806, 2018.
- SANTOS, M. dos; COSTA, I. P. de A.; GOMES, C. F. S. MULTICRITERIA DECISION-MAKING IN THE SELECTION OF WARSHIPS: A NEW APPROACH TO THE AHP METHOD. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, [s. l.], v. 13, n. 1, 2021. Disponível em: <https://ijahp.org/index.php/IJAHP/article/view/833>. Acesso em: 14 nov. 2022.
- SANTOS, R. C.; MARTINHO, J. L. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 1023–1043, 2020.
- SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. Harlow: Pearson, 2023. 2023.

- SCHERY, C. A. D.; CAIADO, R. G. G.; VIGNON, Y. R.; CONGRO, M.; CORSEUIL, E. T. BIM Critical Factors-Based Framework Towards Digitalization of Construction in the Public Sector. *Em: INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT*, 2023, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 315–328.
- SCHERY, C. A.; VIGNON, Y.; CAIADO, R.; SANTOS, R.; CONGRO, M.; CORSEIUL, E.; ROEHL, D. BIM critical factors and benefits for public sector: from a systematic review to an empirical fuzzy multicriteria approach. **Brazilian Journal of Operations and Production Management**, [s. l.], v. 20, n. 3 special edition, e20231837, 2023.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 52, The Sixth International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2016), p. 161–166, 2016.
- SEBASTIAN, R.; VAN BERLO, L. Tool for Benchmarking BIM Performance of Design, Engineering and Construction Firms in The Netherlands. **Architectural Engineering and Design Management**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 254–263, 2010.
- SEPASGOZAR, S. M. E.; HUI, F. K. P.; SHIROWZHAN, S.; FOROOZANFAR, M.; YANG, L.; AYE, L. Lean Practices Using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 161, 2021.
- SFAKIANAKI, E. Critical success factors for sustainable construction: a literature review. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 176–196, 2018.
- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 3–55, 2001.
- SHIROWZHAN, S.; SEPASGOZAR, S. M. E.; EDWARDS, D. J.; LI, H.; WANG, C. BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 112, p. 103086, 2020.
- SIEBELINK, S.; VOORDIJK, J. T.; ADRIAANSE, A. Developing and Testing a Tool to Evaluate BIM Maturity: Sectoral Analysis in the Dutch Construction Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 144, n. 8, p. 05018007, 2018.

- SIEBELINK, S.; VOORDIJK, H.; ENDEDIJK, M.; ADRIAANSE, A. Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity. **Frontiers of Engineering Management**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 236–257, 2021.
- SIEGEL, R.; ANTONY, J.; GOVINDAN, K.; GARZA-REYES, J. A.; LAMEIJER, B.; SAMADHIYA, A. A framework for the systematic implementation of Green-Lean and sustainability in SMEs. **Production Planning & Control**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 71–89, 2024.
- SIMON, H. A. Making Management Decisions: the Role of Intuition and Emotion. **Academy of Management Perspectives**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 57–64, 1987.
- SMITS, W.; VAN BUITEN, M.; HARTMANN, T. Yield-to-BIM: impacts of BIM maturity on project performance. **Building Research & Information**, [s. l.], v. 45, n. 3, p. 336–346, 2017a.
- SMITS, W.; VAN BUITEN, M.; HARTMANN, T. Yield-to-BIM: impacts of BIM maturity on project performance. **Building Research & Information**, [s. l.], v. 45, n. 3, p. 336–346, 2017b.
- SOARES DE, S. S.; BREVAL SANTIAGO, S.; DE AMORIM FRANCISCO SOARES FILHO, A.; BRILHANTE DE MENDONÇA, M.; LUCENA OLIVEIRA, F. Metanálisis de los modelos de madurez de la industria 4.0. **Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América**, [s. l.], v. 45, n. 8, p. 397–401, 2020.
- SOLIHIN, W.; EASTMAN, C.; SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, [s. l.], v. Complete, n. 53, p. 69–82, 2015.
- SOUST-VERDAGUER, B.; GUTIÉRREZ MORENO, J. A.; LLATAS, C. Utilization of an Automatic Tool for Building Material Selection by Integrating Life Cycle Sustainability Assessment in the Early Design Stages in BIM. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 2274, 2023.
- SPARREVIK, M.; DE BOER, L.; MICHELSEN, O.; SKAAR, C.; KNUDSON, H.; FET, A. M. Circular economy in the construction sector: advancing environmental performance through systemic and holistic thinking. **Environment Systems and Decisions**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 392–400, 2021.
- STEFESS, A. info:eu-repo/semantics/masterThesis. **A Maturity Model for Quality Assurance and Control in the Dutch Construction Sector**. [S. l.]: University of

- Twente, 2023. Disponível em: <http://essay.utwente.nl/97603/>. Acesso em: 19 dez. 2023.
- STERNAD ZABUKOVŠEK, S.; JORDAN, S.; BOBEK, S. Managing Document Management Systems' Life Cycle in Relation to an Organization's Maturity for Digital Transformation. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 21, p. 15212, 2023.
- STEWART, D. W.; SHAMDASANI, P. N. **Focus Groups: Theory and Practice**. [S. l.]: SAGE Publications, 2014. 2014.
- STEWART, D. W.; SHAMDASANI, P. Online Focus Groups. **Journal of Advertising**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 48–60, 2017.
- STOJANOVSKA-GEORGIEVSKA, L.; SANDEVA, I.; KRLESKI, A.; SPASEVSKA, H.; GINOVSKA, M.; PANCHEVSKI, I.; IVANOV, R.; PEREZ ARNAL, I.; CEROVSEK, T.; FUNTIK, T. BIM in the Center of Digital Transformation of the Construction Sector—The Status of BIM Adoption in North Macedonia. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 218, 2022.
- SUCCAR, B. 301in.ES Matriz de Madurez BIM. , 2016.
- SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.
- SUCCAR, B. chapter. **Building Information Modelling Maturity Matrix**. [S. l.]: IGI Global, 2010a. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/building-information-modelling-maturity-matrix/www.igi-global.com/chapter/building-information-modelling-maturity-matrix/39468>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- SUCCAR, B. Building Information Modelling Maturity Matrix. *Em*: HANDBOOK OF RESEARCH ON BUILDING INFORMATION MODELING AND CONSTRUCTION INFORMATICS: CONCEPTS AND TECHNOLOGIES. [S. l.]: IGI Global, 2010b. p. 65–103. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/building-information-modelling-maturity-matrix/www.igi-global.com/chapter/building-information-modelling-maturity-matrix/39468>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- SUCCAR, B. The Five Components of BIM Performance Measurement. [s. l.], 2010c. Disponível em: <http://rgdoi.net/10.13140/2.1.3357.1521>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- SUCCAR, B.; KASSEM, M. Macro-BIM adoption: Conceptual structures. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 57, p. 64–79, 2015.

- SUCCAR, B.; SHER, W.; WILLIAMS, A. Measuring BIM performance: Five metrics. **Architectural Engineering and Design Management**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 120–142, 2012.
- SUN, C.; CHEN, H.; LONG, R.; LIAO, R. Research on BIM Application Two-Dimensional Maturity Model. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 1960, 2022.
- SUN, C.; XU, H.; WAN, D.; LI, Y. Building Information Modeling Application Maturity Model (BIM-AMM) from the Viewpoint of Construction Project. **Advances in Civil Engineering**, [s. l.], v. 2021, p. e6684031, 2021.
- TABATABAEE, S.; MAHDIYAR, A.; ISMAIL, S. Towards the success of Building Information Modelling implementation: A fuzzy-based MCDM risk assessment tool. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 43, p. 103117, 2021.
- TAN, T.; CHEN, K.; XUE, F.; LU, W. Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 219, p. 949–959, 2019.
- TAN, Tan; MILLS, G.; PAPADONIKOLAKI, E.; LIU, Z. Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 121, p. 103451, 2021.
- TAN, T.; PAPADONIKOLAKI, E.; MILLS, G.; CHEN, J.; ZHANG, Z.; CHEN, K. Proceedings paper. **BIM-enabled Sustainability Assessment of Design for Manufacture and Assembly**. [S. l.]: ISARC, 2021. Disponível em: <https://www.iaarc.org/publications/search.php>. Acesso em: 27 nov. 2023.
- TEAM, C. P. **Capability Maturity Model (Trademark) Integration (CMMI (Service Mark)), Version 1.1. CMMI (Service Mark) for Software Engineering (CMMI-SW, V1.1)**. [S. l.]: CMMI for systems engineering, software engineering, integrated product and process development, and supplier sourcing (CMMI-SE/SW/IPPD/SS, V1. 1), 2002. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA475656>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- TEECE, D. J. Business models and dynamic capabilities. **Long Range Planning**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 40–49, 2018.
- TEROUHID, S. A.; RIES, R. Organizational sustainability excellence of construction firms – a framework. **Journal of Modelling in Management**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 911–931, 2016.

- TOPUZ, E.; COŞKUN, Ö.; TÜTEK, Y.; ÇAKIR, Ö.; TEMUR, G. T.; SIVRI, Ç. An Innovative Digital Maturity Assessment Model for Smart Cities. *Em: ADVANCES IN BEST-WORST METHOD*, 2022, Cham. **Anais** [...]. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 130–143.
- TRICCO, A. C.; LILLIE, E.; ZARIN, W.; O'BRIEN, K.; COLQUHOUN, H.; KASTNER, M.; LEVAC, D.; NG, C.; SHARPE, J. P.; WILSON, K.; KENNY, M.; WARREN, R.; WILSON, C.; STELFOX, H. T.; STRAUS, S. E. A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. **BMC Medical Research Methodology**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 15, 2016.
- TRICCO, A. C.; LILLIE, E.; ZARIN, W.; O'BRIEN, K. K.; COLQUHOUN, H.; LEVAC, D.; MOHER, D.; PETERS, M. D. J.; HORSLEY, T.; WEEKS, L.; HEMPEL, S.; AKL, E. A.; CHANG, C.; MCGOWAN, J.; STEWART, L.; HARTLING, L.; ALDCROFT, A.; WILSON, M. G.; GARRITTY, C.; LEWIN, S.; GODFREY, C. M.; MACDONALD, M. T.; LANGLOIS, E. V.; SOARES-WEISER, K.; MORIARTY, J.; CLIFFORD, T.; TUNÇALP, Ö.; STRAUS, S. E. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. **Annals of Internal Medicine**, [s. l.], v. 169, n. 7, p. 467–473, 2018.
- TURNER, R. C.; CARLSON, L. Indexes of Item-Objective Congruence for Multidimensional Items. **International Journal of Testing**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 163–171, 2003.
- UN. A Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: uma oportunidade para a América Latina e o Caribe. **Santiago**, [s. l.], p. 93, 2018.
- VAISHNAVI, V. K.; VAISHNAVI, V. K.; KUECHLER, W. **Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology, 2nd Edition**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. 2015.
- VAN LAARHOVEN, P. J. M.; PEDRYCZ, W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. **Fuzzy Sets and Systems**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 229–241, 1983.
- VAROL, B.; ER, G.; TEMUR, G. T. Digital Transportation Maturity Measurement. *Em: KAHRAMAN, Cengiz; HAKTANIR, Elif (org.). Intelligent Systems in Digital Transformation: Theory and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2023. (Lecture Notes in Networks and Systems). p. 561–577. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16598-6_24. Acesso em: 27 nov. 2023.

- VOM BROCKE, J.; HEVNER, A.; MAEDCHE, A. Introduction to Design Science Research. *Em: VOM BROCKE, Jan; HEVNER, Alan; MAEDCHE, Alexander (org.). Design Science Research. Cases.* Cham: Springer International Publishing, 2020. (Progress in IS). p. 1–13. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-46781-4_1. Acesso em: 19 dez. 2023.
- WAGIRE, A. A.; JOSHI, R.; RATHORE, A. P. S.; JAIN, R. Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning & Control**, [s. l.], v. 32, n. 8, p. 603–622, 2021.
- WANG, W.; GUO, H.; LI, X.; TANG, S.; LI, Y.; XIE, L.; LV, Z. BIM Information Integration Based VR Modeling in Digital Twins in Industry 5.0. **Journal of Industrial Information Integration**, [s. l.], v. 28, p. 100351, 2022.
- WANG, L.-X.; MENDEL, J. M. Generating fuzzy rules by learning from examples. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 1414–1427, 1992.
- WIESNER, S.; GAIARDELLI, P.; GRITTI, N.; OBERTI, G. Maturity Models for Digitalization in Manufacturing - Applicability for SMEs. *Em: ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS. SMART MANUFACTURING FOR INDUSTRY 4.0*, 2018, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 81–88.
- WONG, C. F.; LAU, S. H.; TAN, O. K.; YAP, J. B. H. Critical factors influencing the adoption of building information modelling (BIM) using technological adoption framework and structural equation modelling. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], 2023.
- WU, D. D.; OLSON, D. L.; BIRGE, J. R. Risk management in cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 53, p. 1–6, 2013.
- WU, C.; XU, B.; MAO, C.; LI, X. Overview of bim maturity measurement tools. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 22, p. 34–62, 2017.
- XUE, X.; BERNSTEIN, S.; SHANG, Z.; RAFSANJANI, H. N. Predicting BIM Maturity Based on Learning Curve Model at Firm Level. [s. l.], p. 273–284, 2018.
- YOON, K.; HWANG, C., L. TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)—a multiple attribute decision making, w: Multiple attribute decision making—methods and applications, a state-of-the-art survey. [s. l.], v. 128, p. 140, 1981.

- YOSHIURA, L. J. M.; MARTINS, C. L.; COSTA, A. P. C. S.; SANTOS-NETO, J. B. S. dos. A MULTICRITERIA DECISION MODEL FOR RISK MANAGEMENT MATURITY EVALUATION. **Pesquisa Operacional**, [s. l.], v. 43, p. e270186, 2023.
- YU, W. **ELECTRE TRI: Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation**. 1992. - Université Paris-Dauphine, Document du LAMSADE 1992.
- YU, X.; ZHANG, H.; BOURAS, A.; OUZRUT, Y.; SEKHARI, A. Multi-Criteria Decision Making for PLM Maturity Analysis based on an Integrated Fuzzy AHP and VIKOR Methodology. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 17, n. 02, p. 155–179, 2018.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.
- ZAIRUL, M.; ZAREMOHZZABIEH, Z. Thematic Trends in Industry 4.0 Revolution Potential towards Sustainability in the Construction Industry. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 9, p. 7720, 2023.
- ZAKERI, S. M. H.; TABATABAEE, S.; ISMAIL, S.; MAHDIYAR, A.; WAHAB, M. H. Developing an MCDM Model for the Benefits, Opportunities, Costs and Risks of BIM Adoption. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 4035, 2023.
- ZHANG, H. M.; CHONG, H.-Y.; ZENG, Y.; ZHANG, W. The effective mediating role of stakeholder management in the relationship between BIM implementation and project performance. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], 2022.
- ZHANG, D.; WANG, Z.; YIN, C. Research on Evaluation Method of Application Maturity of BIM Technology in Transmission and Distribution Engineering Based on Fuzzy Theory. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 680, n. 1, p. 012039, 2021.
- ZHAO, Y.; SUN, Y.; ZHOU, Q.; CUI, C.; LIU, Y. How A/E/C professionals accept BIM technologies in China: a technology acceptance model perspective. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2022-0308>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- ZIGMUND, V.; ANTUCHEVICIENE, J.; MIGILINSKAS, D. BIM Application in Multi-Criteria Assessment of Suspended Brickwork Façade Production Methods for a Reconstructed Building. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 13, n. 13, p. 7949, 2023.

ZIMMERMANN, H.-J. **Fuzzy Set Theory—and Its Applications.** [*S. l.*]: Springer
Science & Business Media, 2011. 2011.

Apêndice 1

Estimado participante,

Bem-vindo à pesquisa sobre o "Modelo de Maturidade de Building Information Modeling (BIM) combinando Indústria 4.0 e Sustentabilidade". Sua participação é crucial para avaliar a efetividade deste modelo inovador.

Você foi convidado a participar desta pesquisa devido à sua experiência e conhecimento em BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade na construção. Sua contribuição será fundamental para avaliar a eficácia do modelo proposto, que visa integrar esses três pilares essenciais para o futuro da indústria da construção. O modelo busca fornecer uma estrutura abrangente para a implementação bem-sucedida de práticas sustentáveis e tecnologias inovadoras em projetos de construção, considerando aspectos como processos, tecnologia, pessoas, estratégia e políticas. Ao compartilhar suas percepções e opiniões, você estará contribuindo para o aprimoramento desse modelo e para o avanço da indústria da construção rumo a um futuro mais sustentável e tecnologicamente integrado.

O objetivo desta pesquisa é coletar sua opinião sobre como o modelo aborda diversos e indicadores chave relacionados à implementação de BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade em projetos de construção.

A seguir, você encontrará uma série de afirmações. Pedimos que selecione seu nível de concordância ou discordância utilizando a escala Likert fornecida. Sua honestidade é muito apreciada e ajudará a obter uma avaliação precisa do modelo.

Instruções	Leia atentamente cada afirmação. Selecione a opção que melhor reflete sua opinião utilizando a escala Likert - 1 ponto - Muito Insuficiente 2 pontos - Insuficiente 3 pontos - Satisfatório 4 pontos - Bom 5 pontos - Excelente
-------------------	---

Informações gerais

Nome	
Correio de contato	
Atividades principais	
Empresa -	
Anos de experiência -	

Confidencialidade

Todas as respostas são confidenciais e serão utilizadas apenas para fins de pesquisa. Agradecemos antecipadamente pelo seu tempo e participação. Seus comentários serão inestimáveis para melhorar o modelo proposto.

CRITÉRIOS ESSENCIAIS PARA AVALIAR OS MODELOS DE MATURIDADE BIM		1	2	3	4	5
Indicador	Planejamento O indicador de Planejamento avalia a eficácia e a abrangência do planejamento de BIM em projetos de construção. Este indicador mede a preparação e o uso de ferramentas e métodos específicos para garantir uma implementação bem-sucedida do BIM ao longo do ciclo de vida do projeto. O planejamento robusto é essencial para alinhar os objetivos do projeto, as expectativas dos stakeholders, os cronogramas e os recursos. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho - Plano de Execução BIM (BEP) Existência e detalhamento do Plano de Execução BIM, incluindo objetivos claros, estratégias e responsabilidades. - Definição de Padrões e Protocolos Estabelecimento de padrões e protocolos para modelagem, nomenclatura, troca de informações e procedimentos de trabalho colaborativo. - Cronograma de Implementação BIM Elaboração de um cronograma detalhado para as atividades relacionadas ao BIM, integrando-as ao cronograma geral do projeto.					
	1. Em que medida o indicador proposto facilita o planejamento e a coordenação de projetos BIM?					
	2. O PEB é importante para esclarecer papéis e responsabilidades?					
	3. Como você avalia a importância do Plano de Execução BIM (PEB) para a implementação bem-sucedida de BIM em um projeto?					
	Gestão de documentos O indicador de Gestão de Documentos avalia a eficácia do modelo na organização, controle e compartilhamento de documentos relacionados aos projetos BIM. Este indicador mede a capacidade do modelo de melhorar a colaboração e o intercâmbio de informações entre os participantes do projeto, garantindo a disponibilidade, integridade e segurança dos documentos ao longo do ciclo de vida do projeto. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho - Sistema de Gerenciamento de Documentos (SGD) Implementação e utilização de um SGD robusto e integrado ao fluxo de trabalho BIM. - Versionamento e Controle de Revisões Mecanismos eficientes para controle de versões e rastreamento de revisões de documentos e modelos. - Integração com Processos BIM Nível de integração entre o sistema de gestão de documentos e os processos BIM, incluindo vinculação de documentos a elementos do modelo.					
	4. Você está ciente dos desafios de implementar o BIM sustentável na construção?					
	5. O modelo proporciona uma metodologia clara para a gestão de documentos considerando aspectos da Indústria 4.0 e sustentabilidade?					
	6. Considera que o indicador melhora a colaboração e o intercâmbio de informações entre os participantes do projeto por meio da gestão de documentos?					
	Operação e Manutenção O indicador de Operação e Manutenção avalia a consideração do modelo pelos aspectos de sustentabilidade e eficiência durante as fases de operação e manutenção dos projetos BIM. Este indicador mede a capacidade do modelo de facilitar o planejamento e a					

execução das atividades de operação e manutenção, buscando otimizar o desempenho, reduzir custos e minimizar os impactos ambientais a longo prazo. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Integração BIM-FM (Facility Management) Nível de integração entre o modelo BIM e os sistemas de gestão de instalações. • Manutenção Preventiva Baseada em BIM Utilização de dados do modelo BIM para planejar e executar manutenções preventivas. • Atualizações do Modelo As-Built Processos para manter o modelo BIM atualizado com as mudanças realizadas durante a operação.	
7. O indicador considera a operação e a manutenção de projetos BIM a longo prazo?	
8. O indicador integra considerações de sustentabilidade de maneira eficaz nas fases de operação e manutenção?	
9. Considera que o indicador facilita o planejamento e a execução eficiente das atividades de operação e manutenção?	
Integração de sistemas O indicador de Integração de Sistemas avalia a capacidade do modelo de integrar diferentes sistemas e tecnologias relacionadas ao BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade. Este indicador mede a eficácia do modelo em promover a interoperabilidade e a comunicação entre diferentes plataformas e ferramentas, permitindo um fluxo de trabalho mais eficiente e uma tomada de decisão mais embasada. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Interoperabilidade de Formatos Capacidade de troca de dados entre diferentes softwares BIM e sistemas auxiliares sem perda de informação. • APIs e Integrações Customizadas Desenvolvimento e utilização de APIs e integrações personalizadas para conectar sistemas proprietários ao ecossistema BIM. • Sistemas de Gerenciamento de Informações Implementação de um sistema central de gerenciamento de informações que integra dados de múltiplas fontes.	
10. Como avalia a capacidade do indicador para integrar diferentes sistemas e tecnologias relacionadas ao BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade?	
11. O indicador proporciona um guia claro para a integração de sistemas em projetos BIM?	
12. Considera que o indicador fomenta a interoperabilidade entre diferentes sistemas e plataformas?	
Infraestrutura O indicador de Infraestrutura avalia a consideração do modelo pelos requisitos de infraestrutura necessários para suportar a implementação efetiva do BIM, Indústria 4.0 e práticas sustentáveis. Este indicador mede a capacidade do modelo de identificar e abordar lacunas na infraestrutura existente, fornecendo recomendações claras para garantir que os projetos tenham os recursos e suporte adequados. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Capacidade de Hardware Disponibilidade de estações de trabalho, servidores e dispositivos móveis com capacidade adequada para processar modelos BIM complexos. • Infraestrutura de Rede	

	Robustez e velocidade da infraestrutura de rede para suportar colaboração em tempo real e transferência de grandes volumes de dados. • Armazenamento e Backup Sistemas de armazenamento escaláveis e soluções de backup confiáveis para garantir a segurança e disponibilidade dos dados BIM.	
	13. Em que medida o indicador aborda a infraestrutura necessária para apoiar a implementação do BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade?	
	14. O indicador proporciona recomendações claras sobre os requisitos de infraestrutura para projetos BIM?	
	15. Considera que o indicador ajuda a identificar e abordar as lacunas de infraestrutura existentes?	
	Competências O indicador de Competências avalia a eficácia do modelo em fornecer diretrizes para o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos relacionados ao BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade. Este indicador mede a capacidade do modelo de identificar as competências essenciais para os profissionais envolvidos em projetos BIM e de fomentar a capacitação e o desenvolvimento contínuo dessas competências. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Perfis de Competência BIM Definição clara de perfis de competência BIM para diferentes funções dentro da organização. • Programas de Treinamento e Desenvolvimento Implementação de programas contínuos de treinamento e desenvolvimento em BIM, tecnologias da Indústria 4.0 e práticas sustentáveis. • Gestão do Conhecimento Sistemas e processos para capturar, compartilhar e reter o conhecimento BIM dentro da organização.	
	16. O indicador fornece diretrizes claras para o desenvolvimento de competências e habilidades relacionadas ao BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade?	
	17. O indicador proporciona um guia claro sobre as competências necessárias para os profissionais envolvidos em projetos BIM?	
	18. Considera que o indicador fomenta a capacitação e o desenvolvimento contínuo de competências?	
	Colaboração O indicador de Colaboração avalia a eficácia do modelo em promover a colaboração e o trabalho em equipe entre os participantes de projetos BIM. Este indicador mede a capacidade do modelo de fornecer mecanismos e estratégias para facilitar a comunicação, a coordenação e o compartilhamento de conhecimento entre equipes multidisciplinares, fomentando uma cultura colaborativa. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Plataformas de Colaboração BIM Utilização de plataformas especializadas para colaboração em projetos BIM, permitindo acesso e edição em tempo real. • Processos de Coordenação Interdisciplinar Estabelecimento de processos claros para coordenação entre diferentes disciplinas usando modelos BIM. • Gestão de Conflitos e Revisões Processos eficientes para identificação, comunicação e resolução de conflitos usando ferramentas BIM.	

	19. O indicador promove efetivamente a colaboração entre os diferentes participantes de projetos BIM?					
	20. O indicador proporciona mecanismos ou estratégias para facilitar a colaboração efetiva entre equipes multidisciplinares?					
	21. Considera que o indicador fomenta uma cultura de colaboração e trabalho em equipe?					
	Governança O indicador de Governança avalia a estrutura de governança e tomada de decisão proporcionada pelo modelo para projetos BIM. Este indicador mede a capacidade do modelo de fornecer uma estrutura clara para a definição de papéis, responsabilidades e processos de tomada de decisão, considerando os aspectos da Indústria 4.0 e da sustentabilidade, e alinhando os projetos BIM com os objetivos estratégicos da organização. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho - Estratégia BIM Organizacional Existência e alinhamento de uma estratégia BIM clara com os objetivos de negócio da organização. - Estrutura de Governança BIM Estabelecimento de uma estrutura formal de governança BIM, incluindo papéis e responsabilidades bem definidos. - Métricas e KPIs de Desempenho BIM Estabelecimento e monitoramento de métricas e KPIs para avaliar o desempenho e o valor agregado do BIM.					
	22. O indicador fornece uma estrutura clara para a governança e a tomada de decisões em projetos BIM?					
	23. O indicador proporciona uma estrutura clara de governança que considera aspectos da Indústria 4.0 e sustentabilidade?					
	24. Considera que o indicador facilita o alinhamento dos projetos BIM com os objetivos estratégicos da organização?					
	Gestão de projetos O indicador de Gestão de Projetos avalia a eficácia do modelo em apoiar o gerenciamento de projetos BIM, considerando os aspectos da Indústria 4.0 e da sustentabilidade. Este indicador mede a capacidade do modelo de fornecer uma metodologia clara para o planejamento, execução, monitoramento e controle de projetos BIM, buscando melhorar a eficiência, a qualidade e o desempenho geral do projeto. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho - Integração BIM-PMO Nível de integração entre o BIM e o Escritório de Gerenciamento de Projetos (PMO). - Metodologias Ágeis Adoção de metodologias ágeis adaptadas ao contexto BIM para maior flexibilidade e resposta rápida a mudanças. - KPIs BIM Definição e monitoramento de Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) específicos para BIM.					
	25. Em que medida o indicador apoia a gestão efetiva de projetos BIM?					
	26. O indicador proporciona uma metodologia clara para a gestão de projetos considerando aspectos da Indústria 4.0 e sustentabilidade?					
	27. Considera que o indicador melhora a eficiência e o controle na gestão de projetos BIM?					
	Regulamentação O indicador de Regulamentação avalia a consideração do modelo pelas regulamentações e normas relacionadas ao BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade. Este indicador mede a capacidade do modelo de fornecer orientações sobre como cumprir os requisitos regulatórios					

aplicáveis aos projetos BIM e de ajudar as organizações a se manterem atualizadas com as mudanças regulatórias. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho - • Conformidade com Normas BIM Nível de conformidade com normas nacionais e internacionais de BIM (ex - ISO 19650). • Adaptação a Regulamentos Locais Capacidade de adaptar processos BIM às regulamentações locais de construção e planejamento urbano. • Segurança de Dados Conformidade com regulamentos de proteção de dados e segurança cibernética no ambiente BIM.	
28. O indicador considera a regulação e normativa relacionada ao BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade?	
29. O indicador proporciona orientação sobre como cumprir os requisitos regulatórios aplicáveis aos projetos BIM?	
30. Considera que o indicador ajuda as organizações a se manterem atualizadas com as mudanças regulatórias?	
Políticas BIM O indicador de Políticas BIM avalia a eficácia do modelo em apoiar o desenvolvimento e a implementação de políticas BIM a nível organizacional. Este indicador mede a capacidade do modelo de fornecer um framework para a criação de políticas BIM que integrem os aspectos da Indústria 4.0 e da sustentabilidade, alinhando essas políticas com os objetivos estratégicos da organização. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Política de Adoção BIM Existência e abrangência de uma política formal de adoção e implementação do BIM na organização. • Protocolos de Modelagem Definição e aplicação de protocolos padronizados para modelagem BIM. • Política de Treinamento Estabelecimento de políticas de treinamento e capacitação contínua em BIM.	
31. Como o indicador aborda o desenvolvimento e a implementação de políticas BIM a nível organizacional?	
32. O indicador proporciona um framework para a criação de políticas BIM que integrem aspectos da Indústria 4.0 e sustentabilidade?	
33. Considera que o indicador facilita o alinhamento das políticas BIM com os objetivos estratégicos da organização?	
Gestão do ciclo de vida O indicador de Gestão do Ciclo de Vida avalia a integração dos princípios de sustentabilidade e das tecnologias da Indústria 4.0 ao longo de todo o ciclo de vida do projeto BIM. Este indicador mede a capacidade do modelo de facilitar a tomada de decisões informadas e eficientes, considerando os impactos ambientais, sociais e econômicos em todas as fases do projeto, desde a concepção até a operação e manutenção. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Integração de Fases do Projeto Nível de integração do BIM entre as diferentes fases do projeto (concepção, projeto, construção, operação). • Análise de Custos do Ciclo de Vida Utilização do BIM para realizar análises de custos ao longo do ciclo de vida do ativo. • Simulações de Desempenho	

Capacidade de realizar simulações de desempenho energético e sustentabilidade usando modelos BIM.					
34. Como o indicador aborda a gestão do ciclo de vida dos projetos BIM?					
35. Em que medida você concorda que o indicador incorpora princípios de sustentabilidade na gestão do ciclo de vida dos projetos BIM?					
36. Considera que o indicador facilita a tomada de decisões informadas ao longo do ciclo de vida do projeto?					
Gestão de riscos O indicador de Gestão de Riscos avalia a capacidade do modelo de identificar, avaliar e mitigar os riscos associados à implementação do BIM, Indústria 4.0 e práticas sustentáveis. Este indicador mede a eficácia do modelo em fornecer ferramentas e técnicas para gerenciar os riscos do projeto, aumentando a resiliência e minimizando os impactos negativos potenciais. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Identificação de Riscos BIM Processo sistemático para identificar riscos específicos relacionados à implementação e uso do BIM. • Mitigação de Riscos de Colisão Eficácia na detecção e resolução de conflitos usando ferramentas de clash detection BIM. • Riscos de Cibersegurança Medidas para proteger modelos e dados BIM contra ameaças cibernéticas.					
37. O indicador fornece ferramentas e técnicas eficazes para a gestão de riscos em projetos BIM?					
38. O indicador proporciona ferramentas ou técnicas para identificar, avaliar e mitigar os riscos associados à implementação do BIM, Indústria 4.0 e sustentabilidade?					
39. Considera que o indicador ajuda a minimizar os riscos e aumentar a resiliência dos projetos BIM?					
Resíduos O indicador de Resíduos avalia o nível de maturidade na integração de tecnologias BIM e Indústria 4.0 para a gestão eficiente de resíduos em projetos de construção. Este indicador mede a capacidade da organização em utilizar modelagem digital, simulações avançadas e análise de dados para prever, minimizar e gerenciar a geração de resíduos desde a fase de projeto até a demolição Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Previsão de Resíduos Utilização do BIM para prever e quantificar a geração de resíduos durante a fase de projeto. • Otimização de Materiais Uso de simulações BIM para otimizar o uso de materiais e reduzir desperdícios. • Análise de Ciclo de Vida Uso do BIM para realizar análises de ciclo de vida focadas na geração e gestão de resíduos.					
40. Como você avalia a capacidade do projeto em utilizar BIM e tecnologias da Indústria 4.0 para prever e minimizar a geração de resíduos ao longo do ciclo de vida da construção?					
41. Em que nível o projeto incorpora princípios de economia circular e uso eficiente de materiais através das ferramentas BIM na gestão de resíduos?					
42. Qual é o grau de eficácia do projeto na utilização de dados gerados por BIM para tomar decisões que otimizem a gestão de materiais e reduzam desperdícios em todas as fases da construção?					

	Emissões O indicador de Emissões avalia o grau de sofisticação no uso de BIM e tecnologias da Indústria 4.0 para o monitoramento, controle e redução de emissões de gases de efeito estufa em projetos de construção. Este indicador mede a implementação de sistemas inteligentes de monitoramento em tempo real, modelagem preditiva de emissões e estratégias de mitigação baseadas em dados ao longo do ciclo de vida do edifício. Itens ou Premissas para Medir o Desempenho • Modelagem de Carbono Integração de cálculos de carbono incorporado nos modelos BIM durante a fase de projeto. • Simulações Energéticas Utilização de simulações BIM para otimizar o desempenho energético e reduzir emissões operacionais. • Monitoramento em Tempo Real Integração de sensores IoT com BIM para monitoramento em tempo real das emissões durante a construção e operação.					
	43. Como você classifica a eficácia do projeto em utilizar BIM e tecnologias da Indústria 4.0 para monitorar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida da construção?					
	44. Em que medida o projeto implementa estratégias de mitigação de carbono e eficiência energética utilizando modelagem BIM no ciclo de vida da construção?					
	45. Qual é o nível de eficácia do projeto na utilização de dados BIM para tomar decisões que minimizem a pegada de carbono e melhorem o desempenho ambiental em todas as fases da construção?					

Apêndice 2

Modelo de Maturidade BIM (MMB) - Protocolo do Grupo Focal

Informações do participante

Nome (opcional) -				Data	-
	Último	Primeiro	M.I.		
Organização/ (opcional) -	Empresas			País	-
				Brasil	
Cargo -	E-mail (Opcional) -				

Experiência profissional
(tempo) -

Comentários introdutórios

1. *Introdução do Moderador*
2. *Discussão sobre o Reconhecimento e a Importância da Participação em Pesquisa*
3. *Apresentação do tempo de participação - 40 minutos*
4. *Visão geral breve da pesquisa e dos objetivos do Grupo de Foco*
5. *Apresentação das diretrizes básicas para o Grupo de Foco*
6. *Declaração de confidencialidade - O moderador irá fazer anotações sobre o que for discutido, mas nomes ou informações identificativas não serão vinculados aos comentários.*
7. *Visão geral breve da pesquisa, procedimentos e objetivos do Grupo de Foco*
8. *Apresentação das perguntas que serão aplicadas aos participantes no processo do Grupo de Foco. Destaque as perguntas-chave*
9. *Distribuição do Formulário MMB, pedir aos participantes para respondê-lo e discutir suas atribuições/respostas. A partir disso, o Grupo deverá chegar a um consenso para os itens avaliados*
10. *Distribuição do formulário de consentimento*
11. *Preenchimento e coleta do formulário de consentimento. Agradecer a todos pela participação*

Perguntas estruturadas

Por favor, responda às seguintes perguntas se você julgar necessário

Critérios	Discordo veementemente	Discordo levemente	Não discordo nem concordo	Concordo levemente	Concordo veementemente
-----------	------------------------	--------------------	---------------------------	--------------------	------------------------

Níveis de maturidade de Escolha um item

Os níveis de maturidade são suficientes para	☐	☐	☐	☐	☐
--	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

representar todos os estágios de maturação do MMB (Suficiência)					
Não foi detectada sobreposição entre as descrições dos níveis de maturidade (Precisão)	☐	☐	☐	☐	☐

ÁREA DE FOCO, FATORES CHAVE E MODELO CONCEITUAL	Escolha um item				
A área de interesse/dimensões e os indicadores-chave, assim como a matriz do modelo conceitual, são relevantes para o MMB (Relevância)	☐	☐	☐	☐	☐
A matriz do modelo conceitual, das dimensões e dos indicadores abrange todos os aspectos que afetam ou	☐	☐	☐	☐	☐

intervêm no escopo da avaliação de maturidade da BIM (integridade)					
As dimensões e os indicadores e a matriz do modelo conceitual são claramente diferenciados entre as áreas de foco do BIM (mutuamente exclusivas)	☐	☐	☐	☐	☐ .
As dimensões e os indicadores e a matriz do modelo conceitual estão corretamente atribuídos aos seus respectivos níveis de maturidade (Precisão)	☐	☐	☐	☐	☐

MODELO DE MATURIDADE — Compreensível Os níveis de maturidade são compreensíveis	Escolha um item				
	☐	☐	☐	☐	☐ .

As diretrizes de avaliação são compreensíveis	☐	☐	☐	☐	☐
A documentação é compreensível	☐	☐	☐	☐	☐
— Facilidade de Uso	Escolha um item				
O esquema de pontuação é fácil de usar	☐	☐	☐	☐	☐
As diretrizes de avaliação são fáceis de usar	☐	☐	☐	☐	☐
A documentação é compreensível	☐	☐	☐	☐	☐
— Utilidade e Praticidade	Escolha um item				
O modelo de maturidade é útil para conduzir avaliações	☐	☐	☐	☐	☐
O modelo de maturidade é prático para uso dentro de BIM na academia/indústria	☐	☐	☐	☐	☐

Perguntas Semiestruturadas

Por favor, responda às seguintes perguntas

Q1 — Você acrescentaria algum ponto ou nível de escala de maturidade? Em caso afirmativo, explique o que e por quê?

Resposta -

Q2 — Você atualizaria a escala de maturidade ou a descrição do nível? Em caso afirmativo, explique o que e por quê?

Resposta -.

Q3 — Você acrescentaria alguma área de foco, fatores-chave ou ações/capacidades? Em caso afirmativo, explique o que e por quê?

Resposta -

Você removeria alguma área de foco, fatores-chave ou ações/capacidades? Em caso afirmativo, explique o quê e por quê?

Resposta -

Você redefiniria/atualizaria alguma das áreas de foco, fatores-chave ou ações/capacidades? Em caso afirmativo, explique o quê e por quê?

Resposta -

Você sugeriria alguma atualização ou melhoria relacionada ao esquema de pontuação? Em caso afirmativo, explique o quê e por quê?

Resposta -

Você sugeriria alguma atualização ou melhoria relacionada às diretrizes de avaliação? Em caso afirmativo, explique o quê e por quê?

Resposta -

Você gostaria de detalhar alguma de suas respostas? Em caso afirmativo, explique o quê e por quê?

Resposta -

Q9 — O modelo poderia ser mais útil? Como?

Resposta -

Q10 — O modelo poderia ser mais prático? Como?

Resposta -

Perguntas sem estrutura

Responda às seguintes perguntas.

Perguntas

1. Sugestões de melhorias para - - Áreas de interesse, dimensões e indicadores e modelo conceitual
 2. - Níveis de maturidade
 3. - Modelo de maturidade
-

Assinatura

-

Data

-

Apêndice 3

Base de Regras Fuzzy para Avaliação da Maturidade BIM – Dois Itens

#	Item 1	Item 2	Resultado
1	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)
2	Muito Baixo (1)	Baixo (2)	Baixo (2)
3	Muito Baixo (1)	Médio (3)	Baixo (2)
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
24	Muito Alto (5)	Alto (4)	Muito Alto (5)
25	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Base de Regras Fuzzy para Avaliação da Maturidade BIM – Três Itens

#	Item 1	Item 2	Item 3	Resultado
1	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)
2	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Baixo (2)	Muito Baixo (1)
3	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Médio (3)	Muito Baixo (1)
4	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Alto (4)	Muito Baixo (1)
5	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Alto (5)	Muito Baixo (1)
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
122	Muito Baixo (1)	Muito Alto (5)	Baixo (2)	Muito Baixo (1)
123	Muito Baixo (1)	Muito Alto (5)	Médio (3)	Muito Baixo (1)
124	Muito Baixo (1)	Muito Alto (5)	Alto (4)	Muito Baixo (1)
125	Muito Baixo (1)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Baixo (1)

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Base de Regras Fuzzy para Avaliação da Maturidade BIM – Quatro Itens

#	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Resultado
1	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)
2	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Baixo (2)	Muito Baixo (1)
3	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Médio (3)	Muito Baixo (1)
4	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Muito Baixo (1)	Alto (4)	Muito Baixo (1)
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
622	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Baixo (2)	Baixo (2)
623	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Médio (3)	Médio (3)
624	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Alto (4)	Alto (4)
625	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)	Muito Alto (5)

Fonte - Elaborado pelo Autor.

Anexo 1



Rio de Janeiro, 25 de Fevereiro de 2025

O Instituto Tecgraf, centro de referência em pesquisa e desenvolvimento tecnológico da PUC-Rio, destaca-se na criação e implementação de softwares científicos e demais soluções computacionais inovadoras. Temos o compromisso de aliar o conhecimento acadêmico com a busca constante de avanços tecnológicos que impactam diversos setores da indústria.

Neste contexto, reconhecemos a contribuição significativa do trabalho acadêmico desenvolvido pelo pesquisador Carlos Alejandro Díaz Schery, no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Sua dissertação "**Modelo de maturidade de BIM combinando Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens multicritério**", realizada sob a orientação do Prof. Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado e co-orientação da Profª. Soraida Aguilar Vargas, representa um avanço notável na integração de tecnologias digitais no setor da construção.

A pesquisa desenvolvida apresenta particular relevância ao propor um framework metodológico inovador que unifica três pilares fundamentais para o futuro da indústria da construção: as tecnologias BIM (Building Information Modeling), os conceitos da Indústria 4.0 e os princípios de sustentabilidade, utilizando métodos avançados de análise multicritério (MCDM). Esta abordagem ampla não apenas demonstra maturidade acadêmica, mas também oferece soluções práticas para desafios contemporâneos do setor.

Com atuação na área tecnológica relacionada, reconhecemos o valor estratégico desta pesquisa para a evolução dos processos de gestão e execução de projetos complexos. O modelo proposto alinha-se com nossa visão de futuro, onde digitalização, sustentabilidade, e tomada de decisão baseada em dados são elementos cruciais para o sucesso organizacional.

A metodologia desenvolvida apresenta potencial significativo para transformar a maneira como as organizações implementam e gerenciam tecnologias BIM, oferecendo um roteiro claro para a maturidade digital e sustentável. Este trabalho representa uma contribuição valiosa para o campo da engenharia de produção e gestão de projetos, demonstrando como a pesquisa acadêmica pode gerar impacto direto na prática profissional.

Manifestamos nosso reconhecimento à qualidade e relevância desta pesquisa, que exemplifica o tipo de inovação e excelência que o Instituto Tecgraf busca promover. Estudos desta natureza são fundamentais para fortalecer a ponte entre a academia e a indústria, impulsionando o desenvolvimento tecnológico sustentável em nosso país.

Atenciosamente,


Eduardo Thadeu L. Corseuil
INSTITUTO TECGRAF / PUC-RIO
Gerente – Engenharia Digital/BIM

Instituto Tecgraf da PUC-RIO
Rua Marquês de São Vicente, 225
Prédio Pe. Laércio Dias de Moura, S.J.
Gávea | CEP 22451-900 | Rio de Janeiro | RJ
tcg@tecgraf.puc-rio.br | Tel.: +55 21 3520-4000



Anexo 2

Desenvolvimento MAFE-Tri: Avaliação de maturidade com Python e lógica fuzzy



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512025000774-4**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 12/02/2025, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: MAFE-Tri (Maturity Assessment with Fuzzy & Entropy in ELECTRE-Tri-nC)

Data de publicação: 12/02/2025

Data de criação: 10/02/2025

Titular(es): EDUARDO THADEU LEITE CORSEUIL; RENAN SILVA SANTOS; RODRIGO GOYANNES GUSMÃO CAIADO; CARLOS ALEJANDRO DIAZ SCHERY; YISELIS RODRIGUEZ VIGNON; SORAIDA AGUILAR VARGAS

Autor(es): EDUARDO THADEU LEITE CORSEUIL; RENAN SILVA SANTOS; RODRIGO GOYANNES GUSMÃO CAIADO; CARLOS ALEJANDRO DIAZ SCHERY; SORAIDA AGUILAR VARGAS; YISELIS RODRIGUEZ VIGNON

Linguagem: PYTHON

Campo de aplicação: AD-02; MT-06

Tipo de programa: AV-01; FA-01; IA-02

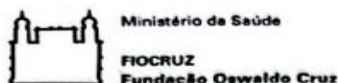
Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:
400ea0ef1ddf88d064abb3391e6e8f8a68a69024a43a159cf9176c066ef5333585e86e4f8a17acca5e86d99e6d859a869667c5acdfe3014e164cab0bd04005bb

Expedido em: 11/03/2025

Aprovado por:
Carlos Alexandre Fernandes Silva
Chefe da DIPTO

Anexo 3



Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos Bio-Manguinhos – FIOCRUZ

Rio de Janeiro, 06 de março de 2025

A Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) mantém um compromisso contínuo com a inovação e a excelência na gestão de projetos e infraestrutura para a promoção da saúde pública e desenvolvimento sustentável. Neste contexto, reconhecemos a importância da pesquisa acadêmica aplicada para fortalecer a transformação digital e a adoção de novas tecnologias no setor da construção.

O pesquisador Carlos Alejandro Díaz Schery, integrante do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), desenvolveu a dissertação intitulada "Modelo de maturidade de BIM combinando Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens multicritério", sob a orientação do Prof. Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado e coorientação da Prof. Soraida Aguilar Vargas.

O estudo propõe um modelo avançado de maturidade para o Building Information Modeling (BIM), integrando tecnologias emergentes da Indústria 4.0, princípios de sustentabilidade e métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM). A pesquisa apresenta uma abordagem inovadora ao desenvolver um framework metodológico que permite avaliar e otimizar a implementação do BIM em projetos complexos, promovendo maior eficiência, redução de desperdícios e impactos ambientais reduzidos.

A Fiocruz reconhece a relevância e aplicabilidade deste estudo para o aprimoramento da gestão de projetos em ambientes altamente regulados, como o setor da saúde, onde a digitalização e a sustentabilidade desempenham papéis fundamentais na modernização da infraestrutura hospitalar e laboratorial. O modelo proposto contribui significativamente para a melhoria dos processos de planejamento, monitoramento e execução de projetos de construção e retrofit, alinhando-se às diretrizes estratégicas da instituição para inovação e sustentabilidade.

Reiteramos nosso apoio a pesquisas que impulsionem a transformação digital e a implementação de tecnologias emergentes para a otimização da gestão de infraestrutura hospitalar e científica.

Atenciosamente,

Shenny da Silva Souza
Analista de Engenharia
Bio-Manguinhos – Fiocruz

Av. Brasil, 4365 - Manguinhos 21045-900 Rio de Janeiro - RJ - Brasil
Tel: (21) 3882.9393 Fax: (21) 2260.4727 www.bio.fiocruz.br

Anexo 4



Rio de Janeiro, 28 de Fevereiro de 2025

A Brasidata Consultoria é uma empresa especializada em tecnologia para a construção civil, com foco em Engenharia de Dados, BIM (Building Information Modeling) e soluções inovadoras para a transformação digital no setor. Com expertise consolidada no desenvolvimento de plataformas tecnológicas, integração de dados e automação de processos, a empresa atua na criação de ambientes colaborativos para gestão de informações e conformidade com normas internacionais, como a ISO 19650. Nosso compromisso é impulsionar a digitalização do setor, promovendo eficiência e inteligência nos processos construtivos.

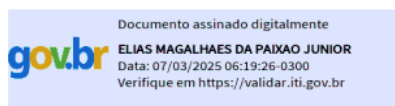
O pesquisador Carlos Alejandro Díaz Schery, integrante do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), desenvolveu a dissertação intitulada "Modelo de maturidade de BIM combinando Indústria 4.0, sustentabilidade e abordagens multicritério", sob a orientação do Prof. Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado e coorientação da Profª. Soraida Aguilar Vargas.

Neste contexto, reconhecemos a relevância do trabalho acadêmico desenvolvido pelo pesquisador Carlos Alejandro Díaz Schery, no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Sua pesquisa sobre análise de maturidade BIM representa uma contribuição significativa para a compreensão e aprimoramento dos processos de implementação dessa tecnologia nas organizações.

O estudo de avaliação de maturidade BIM conduzido pelo pesquisador serviu de insumo para os trabalhos de diagnósticos supervisionados pelo engenheiro pesquisador Elias Magalhães da Paixão Junior, permitindo avaliar o estágio de adoção e desenvolvimento da tecnologia nas empresas do setor. Além disso, esse estudo possibilitou a identificação de desafios e oportunidades, fornecendo direcionamentos estratégicos para reavaliação de processos digitais, escopos de contrato e a consequente maximização dos benefícios do BIM.

A Brasidata Consultoria reconhece o impacto positivo deste trabalho para o avanço da transformação digital no setor da construção, reforçando a importância de iniciativas que integram pesquisa acadêmica e aplicação prática. Estudos desta natureza são fundamentais para aprimorar a adoção do BIM no Brasil e garantir um reconhecido impacto na modernização e competitividade da nossa indústria.

Atenciosamente,



Engº Elias Magalhães da Paixão Júnior

Diretor de Tecnologia da Brasidata Consultoria em Tecnologia e Engenharia