

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Guilherme Lacerda O. Celestino

**SISTEMA DE GESTÃO DE INFRAESTRUTURA
UTILIZANDO METODOLOGIA BIM NO ÂMBITO DO
COMAER**

Trabalho de Graduação
2025

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Guilherme Lacerda O. Celestino

**SISTEMA DE GESTÃO DE INFRAESTRUTURA
UTILIZANDO METODOLOGIA BIM NO ÂMBITO DO
COMAER**

Orientador

Prof.Dr. João Cláudio Bassan de Moraes (ITA)

Coorientadora

Pauline Dulcinéia Mesquita Santiago (CLA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Celestino, Guilherme Lacerda O.

Sistema de gestão de infraestrutura utilizando Metodologia BIM no âmbito do COMAER / Guilherme Lacerda O. Celestino.

São José dos Campos, 2025.

52f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2025. Orientador: Prof.Dr. João Cláudio Bassan de Moraes. Coorientadora: Pauline Dulcinéia Mesquita Santiago.

1. Modelo da informação da construção. 2. Implementação de projetos. 3. Militares. 4. Força Aérea Brasileira; Desenvolvimento de pessoal; Engenharia civil. 5. Desenvolvimento de pessoal. 6. Engenharia civil. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CELESTINO, Guilherme Lacerda O.. **Sistema de gestão de infraestrutura utilizando Metodologia BIM no âmbito do COMAER**. 2025. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Guilherme Lacerda O. Celestino

TÍTULO DO TRABALHO: Sistema de gestão de infraestrutura utilizando Metodologia BIM no âmbito do COMAER.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2025

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Guilherme Lacerda O. Celestino

Rua

H8-B, 236 – São José dos Campos, SP

SISTEMA DE GESTÃO DE INFRAESTRUTURA UTILIZANDO METODOLOGIA BIM NO ÂMBITO DO COMAER

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Guilherme Lacerda O. Celestino

Autor

João Cláudio Bassan de Moraes (ITA)

Orientador

São José dos Campos, 13 de novembro de 2025.

*À minha mãe, por ter me proporcionar al-
çar voos maiores.*

Agradecimentos

Agradeço imensamente à minha família pelo apoio, compreensão e incentivo ao longo de toda a jornada, sendo uma fonte constante de força e inspiração. Obrigado a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu hoje estivesse aqui.

*“A educação é a arma mais poderosa
que você pode usar para mudar o mundo.”*

— SIR NELSON MANDELA

Resumo

Este trabalho analisa o sistema de gestão de infraestrutura do Comando da Aeronáutica (COMAER) sob a ótica da metodologia Building Information Modeling (BIM). A pesquisa, de natureza aplicada e qualitativa, baseou-se em revisão bibliográfica, análise documental e avaliação normativa, buscando identificar o nível de maturidade organizacional e o alinhamento às diretrizes da Estratégia Nacional BIM BR e às normas ISO 19650 e 55000.

Os esforços desenvolvidos incluíram o mapeamento das políticas institucionais, a análise do BIM Mandate (MCA 86-1) e o estudo de projetos-piloto conduzidos por CISCEA, CEPE, COMARA e ITA, que demonstraram usos de BIM 3D, 4D, 5D e aplicações iniciais de 7D voltadas à gestão de ativos. Identificou-se que a FAB opera entre os níveis 1 e 2 de maturidade BIM, com iniciativas avançadas em unidades específicas e planejamento consolidado para alcançar integração plena (Nível 3).

Os resultados indicam que o BIM melhora a eficiência operacional, a qualidade e rastreabilidade das informações, a precisão de projetos e custos, além de apoiar a transição futura para modelos de gestão baseados em Digital Twin. Conclui-se que a adoção estruturada do BIM representa um vetor estratégico de modernização da gestão de infraestrutura no COMAER, fortalecendo a governança digital e a sustentabilidade dos ativos militares.

Palavras-chave: BIM. Gestão de Infraestrutura. Maturidade BIM. Facility Management. Digital Twin. Interoperabilidade. COMAER.

Abstract

This work analyzes the infrastructure management system of the Brazilian Air Force Command (COMAER) from the perspective of the Building Information Modeling (BIM) methodology. The applied and qualitative research was based on a literature review, document analysis, and normative evaluation, seeking to identify the level of organizational maturity and alignment with the guidelines of the Brazilian National BIM Strategy and the ISO 19650 and 55000 standards.

The efforts developed included mapping institutional policies, analyzing the BIM Mandate (MCA 86-1), and studying pilot projects conducted by CISCEA, CEPE, COMARA, and ITA, which demonstrated the use of 3D, 4D, and 5D BIM and initial applications of 7D focused on asset management. It was identified that the Brazilian Air Force operates between levels 1 and 2 of BIM maturity, with advanced initiatives in specific units and consolidated planning to achieve full integration (Level 3).

The results indicate that BIM improves operational efficiency, information quality and traceability, project accuracy and costs, and supports the future transition to Digital Twin-based management models. It is concluded that the structured adoption of BIM represents a strategic vector for modernizing infrastructure management in COMAER (Brazilian Air Force Command), strengthening digital governance and the sustainability of military assets.

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | Contextualização e definição do problema | 12 |
| 1.2 | Objetivo | 13 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral | 13 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 13 |
| 1.3 | Estrutura da tese | 13 |
| 2 | REVISÃO LITERÁRIA | 15 |
| 2.1 | O que é BIM | 15 |
| 2.2 | Dimensões BIM (4, 5, 6 e 7D) | 17 |
| 2.3 | Nível de Desenvolvimento (LoD) | 18 |
| 2.4 | Maturidade BIM e Governança da Informação | 19 |
| 2.5 | O Modelo de Maturidade BIM de Bew-Richards | 20 |
| 2.5.1 | Nível 0 – CAD Não Gerenciado | 20 |
| 2.5.2 | Nível 1 – BIM Gerenciado (“Solitário”) | 20 |
| 2.5.3 | Nível 2 – BIM Colaborativo | 20 |
| 2.5.4 | Nível 3 – BIM Integrado (iBIM) | 21 |
| 2.5.5 | Relação com o Caminho Estratégico do COMAER | 21 |
| 2.6 | Interoperabilidade e Padrões de Informação (IFC, COBie, ISO 19650) | 21 |
| 2.7 | BIM no ciclo de vida das infraestruturas | 22 |
| 2.7.1 | Integração entre BIM, Digital Twin e Indústria 4.0 | 22 |
| 2.7.2 | Gestão preditiva e interoperabilidade | 23 |
| 2.7.3 | Digital Twin e Facility Management (7D) | 23 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.7.4 | Aplicação em infraestruturas militares | 23 |
| 2.8 | BIM na Força Aérea Brasileira e no COMAER | 24 |
| 2.8.1 | Marco regulatório e contexto nacional | 24 |
| 2.8.2 | Implantação no contexto militar (COMAER e FAB) | 24 |
| 2.8.3 | Desafios e oportunidades institucionais | 25 |
| 2.8.4 | Experiências Internacionais de BIM em Defesa e Setor Público | 25 |
| 2.9 | Síntese Crítica da Revisão Bibliográfica | 26 |
| 3 | METODOLOGIA | 28 |
| 3.1 | Tipo de pesquisa | 28 |
| 3.2 | Procedimentos de Coleta e Análise de Dados | 28 |
| 3.3 | Delimitação do estudo | 29 |
| 3.3.1 | Objeto de estudo | 29 |
| 3.3.2 | Local e escopo institucional | 29 |
| 3.3.3 | Recorte temporal | 30 |
| 3.3.4 | Justificativa da delimitação | 30 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 4.1 | Análise Estratégica da Implementação de BIM em Infraestrutura no Co- mando da Aeronáutica Brasileiro | 31 |
| 4.1.1 | Contexto Estratégico e Arcabouço Normativo da Adoção de BIM na Defesa | 31 |
| 4.1.2 | Governança e Doutrina Interna – DIRINFRA e o BIM Mandate | 32 |
| 4.1.3 | Unidades de Implementação e Projetos-Piloto: A Vanguarda do BIM na FAB | 33 |
| 4.2 | Análise dos Objetivos Estratégicos e Benefícios Perseguidos | 36 |
| 4.2.1 | Eficiência, precisão e transparência (usos 3D, 4D, 5D) | 37 |
| 4.2.2 | O fim estratégico: BIM para gestão de ativos (BIM 6D/7D ou O&M) | 37 |
| 4.3 | Estudo da maturidade da Implementação de BIM Infraestrutura no CO- MAER | 38 |
| 4.3.1 | Diagnóstico da Maturidade BIM do COMAER (Bew-Richards) | 38 |
| 4.3.2 | Síntese Consolidada da Análise de Maturidade | 40 |
| 4.4 | Benefícios da metodologia BIM na gestão de ativos | 42 |

| | |
|---|-----------|
| SUMÁRIO | xi |
| 4.4.1 Eficiência operacional | 42 |
| 4.4.2 Governança e interoperabilidade da informação | 43 |
| 4.4.3 Sustentabilidade e ciclo de vida | 43 |
| 4.4.4 Inovação tecnológica e digitalização | 43 |
| 5 CONCLUSÃO, PRÓXIMOS PASSOS E TRABALHOS FUTUROS | 44 |
| 5.1 Conclusões | 44 |
| 5.2 Futuros trabalhos | 45 |
| REFERÊNCIAS | 47 |

1 Introdução

1.1 Contextualização e definição do problema

A gestão de infraestrutura pública e, especificamente, a militar, demanda processos consistentes e integrados ao longo de todo o **ciclo de vida dos ativos** — desde a concepção e construção até a operação, manutenção e eventual desativação. Nesse contexto de alta complexidade e criticidade, a Modelagem da Informação da Construção (BIM, do inglês Building Information Modeling) destaca-se como uma metodologia central para a transformação digital do setor.

O BIM articula processos, políticas e tecnologias digitais, possibilitando criar, utilizar, atualizar e compartilhar colaborativamente modelos digitais de edificações e infraestruturas. A literatura acadêmica aponta benefícios significativos relacionados à **eficiência, qualidade da informação e interoperabilidade** entre os diferentes agentes e fases de um empreendimento (EASTMAN *et al.*, 2018).

No cenário brasileiro, o governo federal tem atuado para induzir a adoção da metodologia. A **Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (BIM BR)**, recentemente atualizada e instituída pelo **Decreto nº 11.888/2024**, estabelece as diretrizes para a criação de um ambiente favorável à adoção do BIM em obras públicas (??). Essa política visa fortalecer a capacidade institucional, apoiar a normatização de processos e fomentar a capacitação profissional, em alinhamento com outras iniciativas, como o Guia Construa Brasil (BRASIL, 2023).

Como organização da administração pública federal, o **Comando da Aeronáutica (COMAER)** está diretamente inserido nesse contexto regulatório. O COMAER gerencia um portfólio de ativos críticos e estratégicos (hangares, pistas, edifícios administrativos, instalações de controle aéreo) e já demonstra crescente interesse pelo BIM como ferramenta para modernizar seu sistema de gestão de infraestrutura. Iniciativas de departamentos como o DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) e o DEC (Departamento de Engenharia e Construção) evidenciam o movimento institucional em direção à transformação digital (ARRUDA, 2022).

Contudo, a simples adoção de novas tecnologias não garante a efetiva implementação da metodologia. A transição de um sistema de gestão tradicional para um baseado em BIM exige

uma avaliação do nível de maturidade da organização (SUCCAR, 2009), bem como a superação de lacunas relacionadas à governança da informação, interoperabilidade de sistemas e capacitação de equipes.

O **problema central** desta pesquisa reside, portanto, no alinhamento entre essas duas realidades: de um lado, as diretrizes normativas nacionais (Estratégia BIM BR) e, de outro, as necessidades e o estágio atual do sistema de gestão de infraestrutura do COMAER.

Diante do exposto, a pesquisa busca responder à seguinte questão:

- **Qual é o nível de maturidade do sistema de gestão de infraestrutura do Comando da Aeronáutica (COMAER) para a implementação da metodologia BIM, considerando as estratégias institucionais e as diretrizes normativas federais?**

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o processo de adoção e integração da metodologia BIM (Building Information Modelling) ao sistema de gestão de infraestrutura do Comando da Aeronáutica (COMAER).

1.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- **Mapear** as diretrizes normativas federais (Decretos e Portarias) e as publicações institucionais (Boletins do COMAER) que regem a utilização do BIM na organização;
- **Identificar** a estratégia documentada pelo COMAER para a implementação do BIM em seus projetos de infraestrutura;
- **Diagnosticar** o nível de maturidade da implementação do BIM no COMAER, com base nos modelos teóricos de maturidade e na análise documental.

1.3 Estrutura da tese

- **Capítulo 1: Introdução**

Este capítulo apresenta a contextualização, definição do problema e objetivos do estudo, bem como uma visão geral da estrutura da tese.

- **Capítulo 2: Revisão Literária**

Uma visão geral e crítica das pesquisas, teorias e metodologias existentes relevantes para o estudo.

- **Capítulo 3: Metodologia**

Uma descrição detalhada dos métodos, materiais e procedimentos utilizados para conduzir a pesquisa.

- **Capítulo 4: Resultados e Discussão**

Apresentação dos resultados da pesquisa, seguida de discussão e interpretação dos mesmos.

- **Capítulo 5: Conclusão e Trabalhos futuros**

Um resumo das principais descobertas, conclusões extraídas dos resultados e recomendações para estudos futuros

2 Revisão Literária

2.1 O que é BIM

A Building Information Modeling (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, constitui uma metodologia integrada que combina tecnologia, processos e colaboração para representar digitalmente as características físicas e funcionais de edificações e infraestruturas ao longo de todo o seu ciclo de vida. Segundo o National Building Information Model Standard (NBIMS, 2007, apud (KHATTRA; JAIN, 2024)), o BIM é uma representação digital que forma uma base confiável de informações sobre o ativo, desde a concepção inicial até a desativação, servindo como recurso compartilhado de conhecimento entre todos os agentes envolvidos.

Khattra e Jain (KHATTRA; JAIN, 2024) reforçam que o BIM não deve ser entendido apenas como um software, mas como um sistema híbrido que une recursos tecnológicos e práticas colaborativas. O componente tecnológico viabiliza a criação de modelos virtuais precisos, permitindo simular processos construtivos; já o componente processual integra o trabalho de diferentes disciplinas, fomentando a interoperabilidade e a colaboração — elementos essenciais à filosofia BIM. Assim, o BIM representa uma mudança de paradigma na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), permitindo que decisões sejam tomadas com base em dados consistentes e em tempo real.

Underwood e Isikdag (2010, apud (MANZIONE, 2013)) definem o BIM como um processo fundamentado em modelos digitais compartilhados e interoperáveis (Building Information Models), capazes de integrar informações geométricas, funcionais e semânticas. O modelo BIM é, portanto, o produto tangível desse processo — um repositório centralizado que contém dados tridimensionais, paramétricos e semanticamente ricos sobre o empreendimento. Esses modelos são orientados a objetos e aptos a gerar diferentes vistas e análises, contribuindo para a compatibilização de projetos, a detecção de interferências, a extração de quantitativos e o planejamento construtivo.

Sacks (2012, apud (MANZIONE, 2013)) argumenta que o BIM deve ser entendido, antes de tudo, como um exercício social, e não apenas técnico, pois seu verdadeiro valor está na colaboração entre os profissionais. A tecnologia, segundo o autor, é apenas o meio para viabilizar ambientes de trabalho mais integrados e eficientes. Nesse sentido, a transformação digital pro-

movida pelo BIM depende fortemente da cultura organizacional e da capacidade de os agentes atuarem de forma cooperativa e transparente.

A obra *Building Information Modeling – Princípios e Tendências* (BRASIL, 2024a) reforça essa concepção ao situar o BIM como o eixo central da transformação digital na construção civil. Define-se a metodologia como um conjunto de políticas, processos e tecnologias que permitem gerenciar dados de projeto em formato digital durante todas as fases do empreendimento. O BIM é apresentado como uma plataforma de integração entre áreas distintas — arquitetura, engenharia, planejamento, custos, operação e manutenção — articulando a informação sob um modelo paramétrico e colaborativo.

Além disso, o livro destaca a interoperabilidade como princípio essencial do BIM, viabilizada por padrões abertos como o IFC (Industry Foundation Classes) e o BCF (BIM Collaboration Format), que permitem a troca estruturada de dados entre diferentes softwares (TÉCNICAS, 2018a). Esses padrões garantem que o modelo digital funcione como linguagem comum entre projetistas, construtores e gestores, reduzindo perdas de informação e aumentando a confiabilidade do processo.

No contexto brasileiro, Delatorre e Santos (2015, apud (MANZIONE, 2013)) observam que o BIM deixou de ser um modismo restrito a poucos pioneiros para se tornar peça central da transformação tecnológica da indústria AEC, envolvendo aspectos de projeto, construção e operação. Sua aplicação em órgãos públicos e instituições, como DNIT, Petrobras e FAB, demonstra o caráter estratégico dessa metodologia na busca por maior eficiência e transparência. Todavia, ainda persistem desafios de padronização, capacitação profissional e medição do nível de desenvolvimento (Level of Development – LOD), evidenciando a necessidade de uma gestão integrada das informações.

De forma convergente, a tese de Manzione (MANZIONE, 2013) propõe uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM, introduzindo o conceito de nível de maturidade do modelo como substituto evolutivo do LOD tradicional. O autor propõe que a maturidade do modelo deve ser avaliada não apenas pelo grau de detalhamento geométrico, mas também pela qualidade da informação, pela coordenação entre disciplinas e pela gestão dos requisitos do projeto. Essa visão amplia a compreensão do BIM, associando-o a indicadores de desempenho e controle de qualidade do processo de projeto.

Por fim, sintetizando as diversas perspectivas, o BIM pode ser compreendido como um ecossistema de informação que reúne dimensões tecnológicas, organizacionais e humanas. Ele promove a digitalização do ciclo de vida da construção, permitindo prever, simular e gerenciar com precisão todas as etapas do empreendimento — do planejamento ao facility management. Essa visão amplia o alcance do BIM, que deixa de ser uma ferramenta tridimensional para consolidar-se como um instrumento estratégico de gestão de infraestrutura, particularmente relevante em instituições complexas como o Comando da Aeronáutica (COMAER), que demandam controle

rigoroso, interoperabilidade e sustentabilidade de seus ativos.

2.2 Dimensões BIM (4, 5, 6 e 7D)

As dimensões BIM correspondem à expansão do modelo tridimensional (3D) com a adição de novas camadas de informação que incorporam variáveis temporais, econômicas, ambientais e operacionais. Essa abordagem multiplica as possibilidades de análise e gestão, transformando o BIM em uma plataforma de gestão integrada do empreendimento (SILVA; BALZ; PEDROZO, 2021).

A quarta dimensão (4D) relaciona o modelo 3D ao fator tempo, permitindo simulações de cronogramas, sequenciamento de atividades e controle de execução. A quinta dimensão (5D) agrega custos, vinculando quantitativos e composições orçamentárias ao modelo digital, o que facilita o monitoramento de variações e o planejamento físico-financeiro (CARNEIRO *et al.*, 2021).

O estudo de Lucena e Soares (LUCENA; SOARES, 2023) investigou o grau de maturidade do uso do BIM 4D e 5D em empresas construtoras brasileiras, constatando que, embora 83,3% das empresas utilizem recursos de 5D, apenas um terço aplica simultaneamente 4D e 5D, e geralmente de forma parcial. As barreiras mais citadas envolvem falta de qualificação técnica, ausência de protocolos de uso e resistência cultural à digitalização dos processos. Essa constatação reforça a necessidade de políticas de capacitação e padronização para que as dimensões BIM possam ser exploradas em todo o seu potencial.

Complementarmente, Carneiro *et al.* (CARNEIRO *et al.*, 2021) demonstram que o BIM 4D e 5D otimizam o gerenciamento de obras por permitirem a visualização integrada entre cronograma e orçamento, o que favorece a tomada de decisão e o controle de custos. Contudo, a ausência de interoperabilidade entre softwares e a escassez de profissionais com domínio das ferramentas ainda limitam o avanço da metodologia no Brasil.

A sexta dimensão (6D) está associada à sustentabilidade e eficiência energética, incorporando informações de desempenho ambiental, consumo energético e avaliação do ciclo de vida (ACV). Segundo Da Silva *et al.* (SILVA; BALZ; PEDROZO, 2021), a 6D permite que decisões sustentáveis sejam tomadas desde o projeto, considerando simulações térmicas, eficiência de sistemas e redução de impactos ambientais. Essa dimensão fortalece a integração entre BIM e ferramentas de ACV, além de abrir caminho para análises multicritério de sustentabilidade.

Por fim, a sétima dimensão (7D), reconhecida na literatura mais recente (MORAIS; RIBEIRO *et al.*, 2024), refere-se à gestão de instalações e ativos (Facility Management – FM). Essa dimensão integra o BIM a sistemas de gestão de manutenção (CMMS), inventário de ativos e monitoramento por IoT, ampliando o uso do modelo para além da construção e operação. O

7D permite que dados do projeto sejam reaproveitados durante a fase operacional, garantindo rastreabilidade, manutenção preditiva e otimização de custos de longo prazo.

Morais et al. (MORAIS; RIBEIRO *et al.*, 2024) destacam que o 7D representa a etapa mais estratégica do BIM, por conectar a informação construída com a governança dos ativos, apoiando a tomada de decisão baseada em dados e a transparência na gestão pública — aspectos essenciais para instituições como o COMAER, onde a longevidade, segurança e eficiência dos ativos são prioritárias.

Assim, 5D, 6D e 7D não são apenas extensões técnicas do modelo, mas ferramentas de governança da informação que suportam todas as etapas do ciclo de vida da infraestrutura, desde a viabilidade até a operação sustentável.

2.3 Nível de Desenvolvimento (LoD)

O conceito de Nível de Desenvolvimento (LoD – Level of Development) surgiu para padronizar o grau de detalhamento geométrico e informacional dos elementos contidos em um modelo BIM, permitindo definir o que deve estar modelado em cada fase do empreendimento e qual a confiabilidade das informações associadas (EASTMAN *et al.*, 2018; BIMFORUM, 2024).

Historicamente, os primeiros modelos de BIM eram limitados a representações tridimensionais, sem critérios normativos de progressão da informação. O termo LoD foi formalizado pelo American Institute of Architects (AIA) em 2008 no documento E202 – BIM Protocol Exhibit, sendo posteriormente consolidado pelo BIMForum em 2013 como *Level of Development Specification*. Inicialmente, havia apenas cinco níveis: LoD 100, 200, 300, 400 e 500, mas, à medida que o BIM se difundiu, percebeu-se a necessidade de uma etapa intermediária, o LoD 350, que passou a representar a coordenação entre disciplinas e interfaces físicas, antes da fase de fabricação.

Segundo o BIMForum (BIMFORUM, 2022; BIMFORUM, 2024), o LoD 350 tem papel fundamental porque indica quando um elemento está geometricamente definido e espacialmente coordenado com os demais, embora ainda não traga o nível de detalhamento construtivo do LoD 400. Em outras palavras, é o ponto de transição entre o modelo de projeto e o modelo de execução, no qual a precisão geométrica e as relações espaciais são suficientes para identificar interferências e validar a construtibilidade.

A dissertação de Luedy (LUEDY, 2019) reforça que o LoD não deve ser entendido apenas como uma escala geométrica, mas como uma combinação entre o detalhamento gráfico e o conteúdo informacional (Level of Information – LoI). Assim, um modelo LoD 300 com LoI baixo pode ser inadequado para planejamento, ainda que geometricamente preciso. Por isso, a autora propõe a gestão conjunta dos níveis de desenvolvimento e dos requisitos informacionais

conforme as normas ISO 12006-2:2015 e ISO 19650-1:2018.

A literatura também evidencia um movimento de evolução do LoD para um conceito mais abrangente de maturidade do modelo. Manzione (MANZIONE, 2013) e Succar (SUCCAR, 2009) defendem que o LoD deve ser complementado por indicadores de desempenho, integração interdisciplinar e rastreabilidade dos dados, compondo o que se denomina nível de maturidade BIM. Essa abordagem permite avaliar a qualidade e confiabilidade do modelo de modo mais holístico, relacionando-o à capacidade de apoiar decisões em todo o ciclo de vida da edificação.

No Brasil e em Portugal, estudos recentes buscam alinhar o LoD às fases de projeto previstas em normativas nacionais, como a NBR 15965 (ABNT) e o Guia BIM de Santa Catarina. Luedy (LUEDY, 2019) propõe uma estrutura generalista de requisitos de informação que associa o LoD a etapas do projeto — estudo prévio, anteprojeto, projeto executivo e modelo as-built —, garantindo coerência entre o detalhamento e os usos BIM.

Dessa forma, a aplicação prática do LoD no contexto do COMAER visa estabelecer parâmetros de interoperabilidade e responsabilidade técnica para cada fase de implantação e manutenção de infraestruturas, assegurando que as informações do modelo sejam consistentes, verificáveis e reaproveitáveis ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos.

2.4 Maturidade BIM e Governança da Informação

A maturidade BIM (ou grau de maturidade organizacional no uso do BIM) é um conceito amplamente utilizado para avaliar o nível de adoção institucional da metodologia, considerando não apenas aspectos técnicos, mas culturais, processuais e de governança (SUCCAR, 2009; STUMPP; ALVES; MANICA, 2021). Em termos práticos, representa a capacidade de uma organização de alavancar o modelo BIM de forma coerente, escalonada e sustentável.

Succar (SUCCAR, 2009) propôs um *framework* em que os níveis de maturidade vão desde “desconhecimento” até “integração digital plena”. Essa modelagem tem sido adaptada em diversos países e organizações. Por exemplo, no Brasil, Kassem e Amorim (KASSEM; AMORIM, 2015) realizaram estudo comparativo entre Brasil e União Europeia, utilizando modelos de maturidade para identificar barreiras e fatores facilitadores da adoção do BIM no contexto nacional.

Na prática institucional, a maturidade BIM não se expressa apenas pelo uso de tecnologias, mas por uma governança da informação capaz de regular fluxos, responsabilidades, qualidade e interoperabilidade. Isso inclui a definição de um Plano de Execução BIM (PEB), a aplicação de *Information Exchange Requirements* (IER) e *Information Delivery Manuals* (IDM), além da curadoria contínua dos modelos e de um órgão gestor interno (BIM Manager, Information Manager etc.).

Para o COMAER, a incorporação de uma métrica de maturidade (tomada de indicadores

como interoperabilidade, uso de dimensões, governança de dados e integração com FM) permitirá traçar uma trajetória clara de evolução institucional.

2.5 O Modelo de Maturidade BIM de Bew-Richards

Para analisar o estágio de evolução do COMAER na adoção da Modelagem da Informação da Construção, optou-se pelo **Modelo de Maturidade BIM de Bew e Richards**, um *framework* amplamente difundido em contextos acadêmicos e industriais e frequentemente utilizado como referência para mensuração da maturidade organizacional em BIM (BEW; RICHARDS, 2008; MONDUE, 2019; SOFTWARE, n.d.). Esse modelo estrutura a maturidade em quatro níveis progressivos (BEW; RICHARDS, 2008):

2.5.1 Nível 0 – CAD Não Gerenciado

Corresponde ao uso de desenhos bidimensionais (2D) produzidos em CAD, sem padronização de processos, nomenclatura ou estruturação da informação. A colaboração é mínima e normalmente ocorre por meio de impressões em papel ou troca de arquivos estáticos em PDF (MONDUE, 2019; SOFTWARE, n.d.).

2.5.2 Nível 1 – BIM Gerenciado (“Solitário”)

Representa a adoção inicial de modelos tridimensionais (3D), porém de forma isolada por disciplina, com convivência frequente entre fluxos em 2D e 3D. Neste nível, surge a implementação de **Ambiente Comum de Dados (CDE)** e de padrões organizacionais, como diretrizes de nomenclatura e organização da informação — princípios semelhantes aos que inspiraram normas internacionais como a BS 1192 e, posteriormente, a ISO 19650 (TÉCNICAS, 2018b; BEW; RICHARDS, 2008).

2.5.3 Nível 2 – BIM Colaborativo

Nesse estágio, cada disciplina desenvolve seu próprio modelo 3D, mas todos os modelos são compartilhados e federados em um **CDE colaborativo**, permitindo interoperabilidade entre equipes, detecção de interferências e coordenação entre disciplinas (MONDUE, 2019). Esse nível corresponde ao patamar exigido em diversos mandatos públicos internacionais, como demonstrado pelo caso do Reino Unido (BEW; RICHARDS, 2008; MONDUE, 2019).

2.5.4 Nível 3 – BIM Integrado (iBIM)

É o nível mais avançado, caracterizado pelo uso de um **modelo único, integrado e centralizado**, geralmente em nuvem, onde todas as partes interessadas trabalham de maneira simultânea e colaborativa em tempo real. Esse nível está diretamente associado à gestão do ciclo de vida completo do ativo, incluindo operação e manutenção (O&M), e depende de interoperabilidade plena baseada em **padrões abertos**, especialmente o formato IFC, conforme recomendado pelo OpenBIM (TÉCNICAS, 2018a; BEW; RICHARDS, 2008).

2.5.5 Relação com o Caminho Estratégico do COMAER

A trajetória do COMAER para estruturar um **Sistema de Gestão de Infraestrutura (SGI)** pode ser compreendida como um movimento de **transição do Nível 1 para o Nível 2**, buscando consolidar práticas colaborativas, padronização organizacional e uso sistemático do CDE. Esse processo foi ressaltado no Workshop HUBBIM, que identificou a necessidade de expandir práticas colaborativas e integrar fluxos de informação entre unidades (INFRAITA, 2024).

O objetivo estratégico de médio e longo prazo da Aeronáutica — em alinhamento ao Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020), às diretrizes da Portaria GM-MD nº 5.261/2022 (DEFESA, 2022) e ao MCA 86-1 (AERONÁUTICA, 2025) — é avançar para o **Nível 3**, onde será possível consolidar o SGI apoiado por interoperabilidade plena, gestão de ativos baseada em dados e integração com sistemas corporativos de manutenção e patrimônio.

Dessa forma, a evolução do COMAER em BIM pode ser sintetizada como uma jornada institucional rumo ao BIM integrado, coerente com modelos de maturidade discutidos na literatura e com as necessidades operacionais da gestão de infraestrutura aeronáutica (NIELSEN; JUNIOR; PELLANDA, 2023; SAMPAIO *et al.*, 2023).

2.6 Interoperabilidade e Padrões de Informação (IFC, COBie, ISO 19650)

A interoperabilidade é essencial no ecossistema BIM, pois define como os modelos e dados transitam entre plataformas, agentes e fases. Para assegurar essa troca confiável, foram desenvolvidos padrões abertos, como o IFC (Industry Foundation Classes), e formatos estruturados, como o COBie (Construction Operations Building information exchange).

No ambiente BIM (Building Information Modeling), enquanto a interoperabilidade sintática garante que os dados possam ser transmitidos e lidos, a interoperabilidade semântica refere-se à capacidade de diferentes sistemas, softwares e agentes trocarem informações de modo que

o significado dos dados seja preservado e compreendido de forma consistente por todas as partes envolvidas no ciclo de vida da infraestrutura. Ou seja, não basta apenas que os sistemas consigam ler um mesmo arquivo — eles precisam entender o conteúdo da informação com o mesmo sentido técnico.

O padrão IFC, gerido pelo *buildingSMART*, estabelece uma linguagem neutra para descrever elementos de construção e suas propriedades, permitindo que modelos geométricos e informacionais sejam interpretados por diferentes softwares. A norma brasileira ABNT NBR ISO 16739-1 refere-se aos fundamentos do IFC (TÉCNICAS, 2018a).

COBie, por sua vez, é um esquema de troca de informações focado no gerenciamento de ativos (FM). Ele organiza os dados de equipamentos, peças, manutenções e operações de forma tabular, facilitando a importação desses dados para sistemas CMMS ou softwares de FM.

No plano normativo, a ISO 19650 (Partes 1 e 2) estrutura a gestão da informação baseada em BIM — definindo os papéis, processos e níveis de informação durante a construção civil e a operação dos ativos (TÉCNICAS, 2018b). A adoção dessa norma é recomendada em documentos como o CRT-BIM do DNIT, que considera a série ISO 19650 como referência para gestão da informação BIM no âmbito de obras públicas (TRANSPORTES, 2024).

No ambiente militar, a aderência a esses padrões é ainda mais crítica, já que a interoperabilidade entre sistemas (engenharia, manutenção, facilities e segurança) exige um modelo de dados confiável e padronizado.

2.7 BIM no ciclo de vida das infraestruturas

2.7.1 Integração entre BIM, Digital Twin e Indústria 4.0

O papel do BIM evoluiu de ferramenta de modelagem para elemento central de gestão do ciclo de vida de ativos. Segundo Revolti et al. (REVOLTI; PINTON *et al.*, 2024), a limitação do BIM tradicional — por operar com dados estáticos — motivou o surgimento do Digital Twin (DT), que amplia o escopo da modelagem por meio da conexão bidirecional entre o modelo digital e o ambiente físico.

O DT possibilita o monitoramento em tempo real, a simulação de cenários e a análise preditiva do desempenho de edifícios e infraestruturas, integrando tecnologias como IoT, computação em nuvem, aprendizado de máquina e análise de dados (REVOLTI; PINTON *et al.*, 2024; ZHOU, 2025). Essa convergência forma a base da Construção 4.0, na qual a informação flui continuamente entre as fases de projeto, construção, operação e desativação.

2.7.2 Gestão preditiva e interoperabilidade

A revisão sistemática de Radzi et al. (RADZI; SHARIF *et al.*, 2023) destaca que o elo entre BIM e DT depende da interoperabilidade semântica dos dados e da definição clara dos níveis de desenvolvimento (LoD) para a migração dos modelos ao ambiente dinâmico. Quando combinadas, as duas tecnologias formam um ecossistema informacional que sustenta práticas de gestão preditiva, controle de desempenho energético e planejamento de manutenção.

Aplicações como o modelo MD-DTT-BIM (*Multi-Dimensional Digital Twin Technology Assisted BIM*), proposto por Zhou (ZHOU, 2025), demonstram ganhos de até 97% em eficiência operacional e 95% em economia de energia, validando o potencial dessa integração para edifícios inteligentes.

2.7.3 Digital Twin e Facility Management (7D)

No estágio mais avançado, o BIM integra-se ao Facility Management (FM), originando o 7D. Essa dimensão busca conectar o modelo digital à operação contínua dos ativos, promovendo manutenção preditiva, controle energético e gestão integrada de espaços.

Estudos recentes (HAKIMI; ALI; WANG, 2024; WANG; CHEN, 2024) evidenciam que o DT-FM viabiliza a coleta e análise de dados em tempo real, permitindo respostas automáticas a falhas e otimização do uso de recursos. O uso de técnicas de processamento de linguagem natural (NLP), como proposto por Wang e Chen (WANG; CHEN, 2024), reforça a integração entre bases de dados e processos de decisão em manutenção predial, melhorando a comunicação entre equipes técnicas e administrativas.

A literatura indica que a fase operacional representa até 70% do custo total de uma infraestrutura (WANG; CHEN, 2024) e que o DT-FM é decisivo para mitigar esse impacto, ao automatizar diagnósticos e planejar intervenções preventivas.

2.7.4 Aplicação em infraestruturas militares

No contexto do COMAER, a combinação BIM-DT-FM permitirá o desenvolvimento de Infraestruturas Digitais de Missão Crítica, com rastreabilidade de componentes, manutenção baseada em condição e integração com sistemas de energia e segurança. O emprego de gêmeos digitais operacionais em bases aéreas e hangares permitirá simulações de falhas, gestão de energia e controle ambiental em tempo real, alinhando-se à estratégia de modernização tecnológica da Defesa 4.0.

2.8 BIM na Força Aérea Brasileira e no COMAER

2.8.1 Marco regulatório e contexto nacional

A institucionalização do Building Information Modeling (BIM) no Brasil decorre de uma estratégia governamental de transformação digital na construção civil. O Decreto nº 9.377/2018 instituiu a Estratégia Nacional BIM BR, posteriormente atualizada pelo Decreto nº 10.306/2020 e consolidada pelo Decreto nº 11.888/2024, que estabelecem diretrizes para ampliar a produtividade, a transparência e a rastreabilidade das obras públicas (REPÚBLICA., 2018; REPÚBLICA., 2020; REPÚBLICA, 2024). O Plano Nova BIM BR v3.0 (2024) define três eixos de atuação — disseminação, estruturação e capacitação — e alinha-se aos princípios da ISO 19650, reforçando a interoperabilidade entre agentes públicos e privados (BRASIL, 2024b; TÉCNICAS, 2018b).

Iniciativas complementares, como o Guia Construa Brasil (2023) e o CRT-BIM (2024), consolidam o BIM como ferramenta estratégica de governança. O Guia propõe a integração entre BIM, Internet das Coisas (IoT) e gestão de ativos por meio de dados abertos e interoperáveis, enquanto o CRT-BIM estabelece critérios técnicos e de maturidade institucional para sua adoção em órgãos federais (BRASIL, 2023; CRT-BIM, 2024).

2.8.2 Implantação no contexto militar (COMAER e FAB)

No Comando da Aeronáutica (COMAER), o BIM vem sendo incorporado de modo gradual para apoiar a gestão de obras, manutenção e fiscalização de contratos. Segundo Arruda (ARRUDA, 2022) e Barros (BARROS, 2024), a utilização do BIM no âmbito militar requer Planos de Execução BIM (PEB) adaptados à realidade institucional — com restrições de segurança da informação, padronização de metadados e necessidade de integração com sistemas de controle patrimonial.

As diretrizes internas do DEC-COMAER (2020) preveem o uso do BIM em três frentes:

- Projeto e planejamento de infraestrutura aeroportuária e habitacional;
- Fiscalização e acompanhamento de obras e serviços de engenharia;
- Gestão de ativos e manutenção predial vinculadas à política de sustentabilidade e eficiência energética.

A adoção do BIM 7D, associada ao Facility Management, é vista como estratégica para reduzir custos operacionais e prolongar a vida útil das instalações. O BIMForum (BIMFORUM,

2024) e a ISO 41001 servem de referência para estruturar o ciclo de informações — da modelagem ao gerenciamento do ativo físico.

2.8.3 Desafios e oportunidades institucionais

Entre os principais desafios, estão a falta de interoperabilidade entre softwares, a carência de capacitação e a resistência cultural à mudança de paradigma. Entretanto, a experiência internacional demonstra que instituições de defesa que implementam BIM em bases aéreas e centros logísticos obtêm ganhos de até 20% na eficiência operacional e reduções significativas de custos de manutenção (HAKIMI; ALI; WANG, 2024).

A consolidação do BIM no COMAER também impulsiona a transição para gêmeos digitais (Digital Twins), integrando sensores IoT em hangares, pistas e edificações administrativas, o que permitirá monitoramento contínuo e manutenção preditiva, em linha com a tendência internacional de Infraestruturas Inteligentes de Defesa (*Defense Smart Infrastructure*).

2.8.4 Experiências Internacionais de BIM em Defesa e Setor Público

Trazer estudos de casos internacionais fortalece o trabalho ao apresentar modelos replicáveis, desafios comuns e estratégias vencedoras. Alguns exemplos:

- O U.S. Army Corps of Engineers tem incorporado o BIM em bases militares e projetos de infraestrutura crítica, desenvolvendo políticas internas para uso de IFC, dados AEC e interoperabilidade com sistemas GIS e sensores.
- No Reino Unido, o *Defence Infrastructure Organisation* (DIO) adotou o BIM para gestão de propriedades militares, definindo diretrizes próprias de mandatos e frameworks de entrega de dados.
- Em Singapura, a *Defence Science and Technology Agency* (DSTA) integra BIM, IoT e *digital twins* em instalações de defesa, aplicando modelo de manutenção preditiva e análise de ciclo de vida.

Essas experiências mostram que os desafios — como a segurança da informação, a padronização de dados e a continuidade institucional — são comuns, mas podem ser mitigados com uma governança robusta, capacitação focada e parcerias público-privadas.

2.9 Síntese Crítica da Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica evidencia que a metodologia BIM consolidou-se como o eixo estruturante da digitalização da construção civil e da gestão de ativos públicos no Brasil. Em sua evolução conceitual, observou-se uma transição de uma abordagem predominantemente geométrica para uma visão integrada, que articula dados, processos e governança da informação.

O conceito de Nível de Desenvolvimento (LoD), inicialmente limitado à precisão geométrica, evoluiu para uma métrica multidimensional que incorpora o nível de informação (LoI) e o nível de maturidade dos processos. Essa evolução reflete o amadurecimento da prática BIM e sua adaptação às demandas de interoperabilidade, conforme preconizado pelas normas ISO 12006-2 e 19650 (TÉCNICAS, 2018b).

A ampliação para as dimensões 4D, 5D, 6D e 7D representou o avanço da metodologia rumo à integração total do ciclo de vida das edificações. A quarta dimensão (tempo) e a quinta (custos) consolidaram o BIM como ferramenta de planejamento e controle; a sexta (sustentabilidade) e a sétima (Facility Management) expandiram seu papel para a gestão operacional e estratégica.

No contexto militar, a adoção do BIM pelo COMAER destaca-se por envolver não apenas eficiência técnica, mas também segurança da informação e continuidade operacional, elementos fundamentais em infraestruturas críticas. O alinhamento às diretrizes da Estratégia Nacional BIM BR, do CRT-BIM e do Guia Construa Brasil posiciona a Aeronáutica na vanguarda da transformação digital do setor público brasileiro (REPÚBLICA., 2020; CRT-BIM, 2024; BRASIL, 2023).

A integração entre BIM, Digital Twin e IoT desponta como o próximo salto tecnológico, ampliando o potencial da gestão inteligente e preditiva das infraestruturas (REVOLTI; PINTON *et al.*, 2024; RADZI; SHARIF *et al.*, 2023; ZHOU, 2025). No entanto, persistem desafios como a carência de profissionais qualificados, a fragmentação normativa e a ausência de interoperabilidade plena entre plataformas. Superá-los requer políticas institucionais de capacitação, padronização e governança digital.

A interoperabilidade e os padrões (IFC, COBie, ISO 19650) são pilares que sustentam a confiabilidade e o reaproveitamento dos dados ao longo do ciclo de vida, especialmente em ambientes onde diferentes sistemas devem “conversar”. Na esfera pública e militar, essa confiabilidade assume caráter estratégico.

A dimensão de sustentabilidade e resiliência eleva o BIM de ferramenta de projeto e planejamento a instrumento preditivo e adaptativo, capaz de otimizar o consumo e preparar infraestruturas para desafios futuros (SILVA; BALZ; PEDROZO, 2021; MORAIS; RIBEIRO *et al.*, 2024).

Por fim, os casos internacionais contextualizam as dificuldades e soluções de implantação em contextos organizacionais complexos — validando a relevância do tema para o COMAER.

Em síntese, o conjunto de evidências demonstra que o BIM deixou de ser apenas uma metodologia de modelagem para se tornar uma estratégia de gestão da informação e de transformação digital das organizações — com potencial para revolucionar a operação, manutenção e sustentabilidade das infraestruturas públicas e militares.

Com essa base teórica ampliada, o trabalho ganha substância, oferecendo um arcabouço conceitual robusto que fortalece a elaboração de modelo aplicado, metodologia e proposta de implementação.

3 Metodologia

3.1 Tipo de pesquisa

O presente estudo é classificado quanto à sua natureza, seus objetivos e sua abordagem:

- **Quanto à natureza:** A pesquisa é de **natureza aplicada**. Ela não busca gerar conhecimento teórico puro, mas sim analisar uma situação específica (a gestão de infraestrutura no COMAER) e avaliar a aplicação de uma ferramenta (BIM), visando à compreensão de um problema prático e à potencial melhoria de processos (GIL, 2008).
- **Quanto aos objetivos:** Adota-se um caráter **exploratório**. O tema da implementação e maturidade do BIM em uma organização militar como o COMAER é pouco explorado na literatura acadêmica. Assim, a pesquisa visa "proporcionar maior familiaridade com o problema", identificando as estratégias documentadas e o estágio atual (GIL, 2008).
- **Quanto à abordagem:** A pesquisa utiliza uma abordagem **qualitativa**. O foco não está na quantificação de dados, mas na interpretação e compreensão do fenômeno (a adoção do BIM). Busca-se analisar o conteúdo dos documentos oficiais para entender o "como" e o "porquê" das estratégias adotadas (CRESWELL, 2010).

3.2 Procedimentos de Coleta e Análise de Dados

O procedimento técnico central para a coleta e análise de dados foi a **análise documental**. Este método utiliza documentos como fontes estáveis e ricas de informação, permitindo investigar o contexto e as diretrizes formais da organização (BARDIN, 2011).

A análise documental qualitativa foi estruturada em duas categorias de fontes:

1. **Fontes Primárias:** Documentos que constituem a base normativa e de comunicação oficial do objeto de estudo. Foram incluídos:

- **Documentos oficiais da administração pública federal:** Decretos e Portarias Ministeriais que estabelecem a Estratégia BIM BR (ex: Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020)).
 - **Publicações oficiais do COMAER:** Boletins do Comando da Aeronáutica (BCA) e artigos institucionais que comunicam diretrizes, planos de implementação ou estudos de caso internos sobre BIM.
2. **Fontes Secundárias (Referencial Teórico):** Materiais que fornecem o arcabouço analítico para interpretar as fontes primárias. Incluíram:
- **Artigos acadêmicos e literatura especializada:** Focados na metodologia BIM e, crucialmente, em **modelos de maturidade BIM** (como os de Succar (SUCCAR, 2009) ou Bew-Richards (BEW; RICHARDS, 2008)), que serviram como régua para a análise do estágio do COMAER.

A análise seguiu uma abordagem de **análise de conteúdo** (BARDIN, 2011), buscando identificar nos documentos primários as evidências da estratégia de implementação e os indicadores de maturidade definidos pelas fontes secundárias.

3.3 Delimitação do estudo

3.3.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo é a **análise da implementação da metodologia BIM (Building Information Modelling)** e a avaliação do seu **nível de maturidade** no âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER). A pesquisa foca em como as diretrizes federais (Estratégia BIM BR) são traduzidas e estruturadas normativamente dentro desta organização militar, utilizando como base de análise os documentos oficiais e os modelos de maturidade BIM discutidos na literatura acadêmica (SUCCAR, 2009).

3.3.2 Local e escopo institucional

O estudo está institucionalmente localizado no Comando da Aeronáutica (COMAER), organização que integra a administração pública federal direta. O escopo da análise documental abrange:

- **Nível Federal (Macro):** Decretos e Portarias Ministeriais que estabelecem a Estratégia BIM BR e sua obrigatoriedade (ex: Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020)).

- **Nível Organizacional (Meso):** Publicações oficiais do COMAER (Boletins do Comando) e artigos institucionais que tratam da diretriz, implementação, capacitação ou uso do BIM em suas estruturas de engenharia e infraestrutura.

3.3.3 Recorte temporal

O recorte temporal da análise documental inicia-se em **2018**, ano da publicação do Decreto nº 9.377, que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (Estratégia BIM BR) (REPÚBLICA., 2018), estendendo-se até o **presente ano**. Este período é considerado crítico, pois abrange a fase de obrigatoriedade escalonada da implementação do BIM na administração pública federal, conforme estabelecido pelo Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020).

3.3.4 Justificativa da delimitação

A delimitação do estudo justifica-se pela **relevância do COMAER** como gestor de um complexo e vasto parque de infraestrutura aeroportuária e de defesa, cujo ciclo de vida (projeto, construção, operação e manutenção) é diretamente impactado pela transformação digital imposta pelo BIM.

O **recorte temporal (pós-2019)** é fundamental por coincidir com o impulso regulatório federal que moveu o BIM de uma adoção voluntária para uma implementação estratégica e obrigatória. A análise focada nos **documentos oficiais** (fontes primárias) permite uma investigação exploratória fidedigna das diretrizes formais adotadas, enquanto os **modelos de maturidade** (fontes secundárias) oferecem a lente teórica necessária para avaliar o estágio de implementação descrito nesses documentos.

4 Resultados e discussão

4.1 Análise Estratégica da Implementação de BIM em Infraestrutura no Comando da Aeronáutica Brasileiro

4.1.1 Contexto Estratégico e Arcabouço Normativo da Adoção de BIM na Defesa

A adoção da metodologia Building Information Modelling (BIM) no âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER) não se configura como ação isolada ou pontual. Trata-se de um desdobramento de uma política de Estado mais ampla, voltada à modernização da engenharia e da gestão de infraestruturas públicas no Brasil.

4.1.1.1 Alinhamento à Estratégia BIM BR – Nível Federal

O principal marco normativo que orienta a incorporação do BIM pela Força Aérea Brasileira (FAB) é o Decreto Federal nº 10.306, de 2 de abril de 2020, que estabelece a utilização do BIM na execução, direta ou indireta, de obras e serviços de engenharia no âmbito da administração pública federal (REPÚBLICA., 2020). Esse decreto integra a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (Estratégia BIM BR), instituída originalmente pelo Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018 (REPÚBLICA., 2018).

O Ministério da Defesa (MD) foi incluído explicitamente nesse arcabouço, com aplicação às atividades executadas nos imóveis jurisdicionados ao Exército Brasileiro, à Marinha do Brasil e à Força Aérea Brasileira (REPÚBLICA., 2020). A implementação foi planejada de forma gradual, tendo a primeira etapa de exigência — concentrada na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia — iniciado em 1º de janeiro de 2021 (REPÚBLICA., 2020; AERONÁUTICA, 2020).

4.1.1.2 A Diretriz do Ministério da Defesa – Nível Ministerial

Em atendimento ao Decreto nº 10.306/2020, o Ministério da Defesa publicou a Portaria GM-MD nº 5.261, de 17 de outubro de 2022, que revogou a Portaria Normativa nº 56/GM-

MD, de 2020, e especificou “os empreendimentos, programas e as iniciativas de média e grande relevância para a disseminação do BIM” no âmbito do MD (MINISTRO, 2022; DEFESA, 2020; CONSTRUÇÃO, 2022). Essa normativa determinou que cada Força Armada elaborasse seu próprio cronograma de implementação (MINISTRO, 2022).

No caso da FAB, observa-se um foco estratégico voltado à capacitação, à estruturação de ferramentas e às ações de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Enquanto parte das iniciativas destinadas a outras forças militares se concentrou em projetos-piloto específicos — como a “elaboração do projeto da Vila Militar Sustentável” para o Exército Brasileiro (DEFESA, 2020) —, para a Aeronáutica a portaria previu, de forma particular (DEFESA, 2020; CONSTRUÇÃO, 2022):

1. a aquisição de licenças de *softwares* BIM e *hardwares* por meio de ata de registro de preços;
2. a modernização do Laboratório BIM (LabBIM) da Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica do ITA.

Essa diretriz evidencia o reconhecimento, por parte do MD, da complexidade técnico-operacional inerente às infraestruturas aeroportuárias da FAB. Ao privilegiar a consolidação de uma base sólida de P&D (via ITA) (CONSTRUÇÃO, 2022) e a disponibilização de ferramentas tecnológicas adequadas antes da expansão em larga escala, a Aeronáutica é posicionada como vetor de desenvolvimento de conhecimento e capacidade tecnológica no âmbito da Defesa.

4.1.2 Governança e Doutrina Interna – DIRINFRA e o BIM Mandate

Para que as diretrizes federais e ministeriais se traduzam em práticas concretas, o COMAER estruturou um modelo de governança interna com forte centralização.

4.1.2.1 O Papel Centralizador da DIRINFRA

A Diretoria de Infraestrutura da Aeronáutica (DIRINFRA) consolidou-se como órgão central de governança da implementação do BIM na FAB (AERONÁUTICA, 2020; AERONÁUTICA, 2022). Compete à DIRINFRA estabelecer a doutrina, os padrões e os processos que orientam todas as organizações de engenharia da Força Aérea, atuando como instância normativa e coordenadora da estratégia institucional (AERONÁUTICA, 2020).

4.1.2.2 Análise da Doutrina: O MCA 86-1 (BIM Mandate)

O principal instrumento dessa governança é o MCA 86-1, “Manual de Modelagem BIM – BIM Mandate”. Aprovado inicialmente pela Portaria DIRINFRA nº 38/ANCN, de 7 de de-

zembro de 2021 (AERONÁUTICA, 2021; INFRAESTRUTURA, 2022), e posteriormente atualizado, por exemplo, pela Portaria DIRINFRA nº 199/AASA, de 23 de julho de 2025 (AERONÁUTICA, 2025), o documento constitui o eixo central da estratégia BIM da FAB.

Mais do que um manual de modelagem 3D, o MCA 86-1 estabelece um plano de implementação amplo, estruturado em quatro fases, cobrindo todo o ciclo de vida dos ativos (AERONÁUTICA, 2021):

- **Fase 1: Projeto** – usos de projeto, conforme detalhado na Tabela 1 do manual;
- **Fase 2: Construção** – planejamento da construção, coordenação espacial 3D;
- **Fase 3: Operação** – planejamento de manutenção, gestão de ativos, modelagem de registros e modelagem das condições existentes;
- **Fase 4: Gestão Patrimonial** – integração com sistemas legados da FAB, como o SISOP.

A atenção dedicada às Fases 3 e 4 revela o vetor estratégico principal da Força: a intenção não se limita a projetar ou construir com maior eficiência, mas, sobretudo, a aprimorar a operação e a manutenção (O&M) do extenso e complexo parque de infraestrutura aeroportuária sob responsabilidade da FAB.

O manual caracteriza a “Gestão de Ativos” (Fase 3) como um sistema associado ao modelo de registros, destinado a “auxiliar na manutenção e operação de um empreendimento”, abrangendo custos, manutenções preventivas e corretivas e o valor contínuo do ativo (AERONÁUTICA, 2021). Nesse contexto, o modelo BIM é concebido desde a origem como um “Modelo de Registros” (AERONÁUTICA, 2021), que deve ser continuamente atualizado com informações, evoluindo até se tornar o núcleo de um “Gêmeo Digital” (Digital Twin) do ativo (AERONÁUTICA, 2021; AERONÁUTICA, 2020). Essa visão revela um grau elevado de maturidade de planejamento, compatível com princípios consolidados de Gestão de Ativos, como os da série ISO 55000 (GOMES, 2020; ENAP, n.d.).

4.1.3 Unidades de Implementação e Projetos-Piloto: A Vanguarda do BIM na FAB

A FAB adotou uma estratégia de implementação baseada em portfólio e experimentação, utilizando unidades de engenharia altamente especializadas como “centros de excelência” para testar, adaptar e consolidar o uso do BIM em cenários distintos.

4.1.3.1 A Estratégia de Centros de Excelência

Em vez de uma implantação puramente hierárquica e uniforme, a DIRINFRA estimulou o uso do BIM em suas principais organizações de engenharia — CISCEA, COMARA, CEPE e ITA — privilegiando a solução de problemas concretos e desafiadores (BRASILEIRA, 2025):

- a CISCEA concentrou-se em edificações técnicas, padronização de processos e gestão de ativos *as-built*;
- a COMARA focou em infraestrutura horizontal (pistas, drenagem) em ambientes remotos e extremos;
- o CEPE dedicou-se à logística complexa e à integração de novas tecnologias, como drones;
- o ITA atuou como pilar de P&D e formação de doutrina.

As experiências e lições aprendidas em cada uma dessas unidades são posteriormente consolidadas. O caso da CISCEA é emblemático: seu BIM Mandate interno, desenvolvido em cooperação com o SENAI Paraná, serviu de base para a elaboração do MCA 86-1 da FAB (PARANÁ, n.d.; AERONÁUTICA, 2021).

4.1.3.2 CISCEA – Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo

A CISCEA assumiu papel pioneiro, sendo frequentemente citada como o “berço” da doutrina BIM na Força Aérea (AÉREO, 2020; PARANÁ, n.d.). A parceria com o Instituto SENAI de Tecnologia em Construção Civil do Paraná foi decisiva (PARANÁ, n.d.), iniciando-se com um diagnóstico de maturidade, mapeamento de processos e desenvolvimento conjunto do BIM Mandate da Comissão.

A CISCEA executou duas Provas de Conceito (POCs) centrais:

- **Projeto-Piloto 1 (Projeto e Construção) – Torre de Controle de Bacacheri (TWR-BI):**

Primeiro projeto executado integralmente em BIM pela CISCEA (AÉREO, 2020; DEFESA, 2020). Embora se trate de uma edificação vertical, o empreendimento foi utilizado como laboratório para testar usos ao longo de todo o ciclo: 3D (modelagem), 4D (planejamento/tempo) e 5D (custos) (AÉREO, 2020). O objetivo estratégico era obter orçamentos mais precisos e reduzir termos aditivos contratuais (AÉREO, 2020).

- **Projeto-Piloto 2 (Gestão de Ativos) – DTCEA-CT (Aeroporto Afonso Pena):**

Nesta segunda POC, o foco foi a comprovação da abordagem de O&M (Fase 3 do Mandate), com ênfase em gestão de ativos (PARANÁ, n.d.). Por meio de *laser scanning* (Scan-to-BIM), foi elaborado um modelo *as-built* de uma edificação existente, com o intuito de empregar o modelo BIM na gestão inteligente da instalação e na implementação de um plano de manutenção preventiva e corretiva (PARANÁ, n.d.; AÉREO, 2020).

4.1.3.3 COMARA – Comissão de Aeroportos da Região Amazônica

A COMARA constitui o principal centro de excelência da FAB para BIM em infraestrutura horizontal (pistas, pátios, terraplenagem) (AMAZÔNICA, 2022; AUTODESK, 2024b; AUTODESK, 2024a). Sua missão é projetar e implantar aeródromos em áreas remotas da Amazônia, o que envolve desafios logísticos e de engenharia de alta complexidade (AUTODESK, 2024b).

A Comissão rapidamente identificou a necessidade de formação especializada em BIM voltado à infraestrutura, para além do enfoque tradicional em edificações. Em 2022, elaborou Estudo Técnico Preliminar para contratação de treinamento avançado de 30 militares de seu quadro técnico (AMAZÔNICA, 2022). Os módulos propostos evidenciam o foco em infraestrutura: desenvolvimento de *template* aeroportuário, uso de *Navisworks* (detecção de interferências) e módulo específico de drenagem (AMAZÔNICA, 2022).

O projeto-piloto selecionado para validação dessas capacidades foi o Aeródromo de Marechal Thaumaturgo (AC) (AMAZÔNICA, 2022; AUTODESK, 2024b). Trata-se de exemplo representativo de BIM para infraestrutura na FAB, com escopo de modelagem abrangendo todo o sítio aeroportuário horizontal (AUTODESK, 2024b; AUTODESK, 2024a):

- projeto geométrico de pistas;
- terraplenagem;
- drenagem;
- pavimentação;
- sinalização horizontal, vertical e luminosa (AUTODESK, 2024b).

Os resultados relatados indicam aumento de velocidade e agilidade na etapa de compatibilização e maior facilidade de compreensão do projeto (AUTODESK, 2024b). Para isso, a COMARA faz uso da AEC Collection da Autodesk, incluindo ferramentas voltadas especificamente à infraestrutura, como Civil 3D e InfraWorks (AUTODESK, 2024a).

4.1.3.4 CEPE – Centro de Estudos e Projetos de Engenharia

O CEPE atua como centro de excelência em inovação, projetos complexos de engenharia e integração tecnológica (BRASILEIRA, 2025). O projeto-piloto de reforma e ampliação do aeródromo de Querari (AM), na fronteira com a Colômbia, ilustra a aplicação de BIM em um patamar avançado, com destaque para a integração com o planejamento logístico (ENGENHARIA., 2025; BRASILEIRA, 2025).

Esse projeto obteve o 1º lugar no Prêmio BIM de Projetos em Florianópolis (outubro de 2025), na categoria infraestrutura/industrial (CREA-SC, 2025). A análise do empreendimento evidencia usos inovadores do BIM em cenários de engenharia extremos na Amazônia (ENGENHARIA., 2025):

1. **Planejamento logístico (4D):** utilização do modelo para organizar o transporte de equipamentos e insumos, totalizando mais de 200 horas de voo;
2. **Integração drone-BIM (Scan-to-BIM):** modelagem e levantamento realizados com drones para adequar com precisão o projeto à topografia georreferenciada do terreno;
3. **Gestão de riscos (5D):** uso da detecção de interferências e da extração de quantitativos como instrumentos para otimizar a gestão de riscos e elevar a eficiência logística em local de difícil acesso.

4.1.3.5 ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica

O ITA fortalece o pilar acadêmico e de P&D da estratégia BIM do COMAER (CONSTRUÇÃO, 2022). Além da modernização do LabBIM, voltado a desenvolver soluções computacionais (CONSTRUÇÃO, 2022), o Instituto colaborou com a Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC) na elaboração do *Manual de Projetos Aeroportuários* (CIVIL, 2021). Esse manual, de abrangência nacional, incorpora o BIM como metodologia para o desenvolvimento de projetos aeroportuários, estabelecendo requisitos para pistas, pátios e terminais (CIVIL, 2021).

4.2 Análise dos Objetivos Estratégicos e Benefícios Perseguidos

A adoção do BIM pela FAB decorre de um conjunto de objetivos estratégicos que vão desde ganhos imediatos de eficiência até a consolidação de uma visão de longo prazo para a gestão patrimonial.

4.2.1 Eficiência, precisão e transparência (usos 3D, 4D, 5D)

Os benefícios de curto prazo almejados estão em linha com as melhores práticas observadas no setor AECO (PARANÁ, n.d.; AUTODESK, 2024b; METROFORM, n.d.). Entre eles, destacam-se:

- **Projetos mais assertivos:** a detecção prévia de conflitos (compatibilização) em ambiente virtual reduz erros na etapa de execução (AUTODESK, 2024b). O projeto de Marechal Thaumaturgo, conduzido pela COMARA, é citado como exemplo dos ganhos de velocidade e agilidade na etapa de compatibilização (AUTODESK, 2024b).
- **Orçamentos mais precisos (5D):** a extração de quantitativos diretamente do modelo BIM minimiza cálculos manuais e reduz o risco de compras em excesso (METROFORM, n.d.). No caso da Torre de Controle de Bacacheri, conduzida pela CISCEA, a geração de orçamentos mais precisos foi um objetivo declarado (AÉREO, 2020).
- **Redução de aditivos contratuais e aumento da transparência:** com projetos mais bem definidos e orçamentos mais confiáveis, espera-se a redução de termos aditivos contratuais (AÉREO, 2020), maior eficiência na utilização de recursos e o fortalecimento da transparência e integridade dos processos, contribuindo para uma gestão ética dos recursos públicos (AUTODESK, 2024b).

4.2.2 O fim estratégico: BIM para gestão de ativos (BIM 6D/7D ou O&M)

Conforme definido pela doutrina da DIRINFRA no MCA 86-1, o objetivo estratégico de longo prazo é a gestão de ativos (AERONÁUTICA, 2021). A infraestrutura da FAB — bases aéreas, centros de controle, aeródromos remotos — caracteriza-se por ciclos de vida longos e custos elevados de operação e manutenção (GOMES, 2020; ENAP, n.d.).

O plano explicitado no MCA 86-1 (AERONÁUTICA, 2021) prevê que o modelo BIM, concebido como “modelo de registros”, seja continuamente alimentado com informações relevantes de operação da edificação e, na Fase 4, integrado ao sistema de gestão patrimonial da Força (SISOP).

Esse direcionamento vem sendo construído e validado de forma incremental:

1. a **doutrina** (MCA 86-1) estabelece o horizonte de longo prazo centrado em gestão de ativos (AERONÁUTICA, 2021);
2. o **piloto da CISCEA** (DTCEA-CT) demonstra a viabilidade de criação de modelos *as-built* de ativos existentes, a partir de *laser scanning* (Scan-to-BIM), para suporte à manutenção preventiva (AÉREO, 2020; PARANÁ, n.d.);

3. o **piloto do CEPE** (Querari) comprova a integração de dados de campo *as is* usando drones (Drone-to-BIM), contribuindo para a adequação topográfica e o planejamento logístico em região de difícil acesso (ENGENHARIA., 2025).

O conjunto dessas iniciativas indica que a FAB não está apenas adotando o BIM como ferramenta de projeto, mas está, de forma incremental, construindo os componentes necessários para uma estratégia avançada de gêmeos digitais (*Digital Twins*) (AERONÁUTICA, 2021; AÉREO, 2020). A meta é a transição de modelos BIM estáticos, entregues ao final de cada obra, para representações virtuais dinâmicas de sua infraestrutura crítica, alimentadas por dados quase em tempo real, a fim de otimizar a operação e a manutenção ao longo de todo o ciclo de vida.

4.3 Estudo da maturidade da Implementação de BIM Infraestrutura no COMAER

4.3.1 Diagnóstico da Maturidade BIM do COMAER (Bew-Richards)

Tomando como base o modelo de maturidade BIM proposto por Bew-Richards, amplamente utilizado como referência conceitual para a evolução do uso do BIM em organizações de AEC (MONDUE, 2019; SOFTWARE, n.d.; VARIOS, n.d.), é possível situar o estágio de implementação da metodologia no COMAER, com foco no Sistema de Gestão de Infraestrutura (SGI), conforme descrito a seguir.

Do ponto de vista histórico, o **Nível 0** pode ser considerado superado: a atuação da engenharia do COMAER já não se restringe à produção de desenhos 2D isolados, havendo uma transição consolidada para o uso de **modelos digitais e fluxos de trabalho BIM** em projetos selecionados (AÉREO, 2020; AUTODESK, 2024b).

O **Nível 1** corresponde ao patamar organizacional mínimo atualmente estabelecido. A edição do **MCA 86-1 – Manual de Modelagem BIM – BIM Mandate** (AERONÁUTICA, 2021; AERONÁUTICA, 2025) representa, na prática, a institucionalização desse nível: o documento define padrões de nomenclatura, processos, responsabilidades, usos de informação e regras para o Ambiente Comum de Dados (CDE), em consonância com as diretrizes de gestão da informação presentes na ABNT NBR ISO 19650-1 (TÉCNICAS, 2019) e com o sistema de classificação da informação da construção da ABNT NBR 15965 (TÉCNICAS, 2014).

O **Nível 2** já é observado em “bolsões de excelência”, isto é, em unidades e projetos específicos que operam com modelos federados, múltiplas disciplinas e colaboração em CDE. O projeto de reforma e ampliação do Aeródromo de Querari, conduzido pelo CEPE, integra nove disciplinas em um ambiente colaborativo em nuvem e foi reconhecido nacionalmente com o 1º lugar no Prêmio BIM de Projetos em Florianópolis (CREA-SC, 2025; ENGENHARIA., 2025). De

forma semelhante, o projeto da Torre de Controle de Baccheri (TWR-BI), desenvolvido pela CISCEA, utilizou modelagem 3D integrada a simulações 4D (tempo) e 5D (custos), com vistas à redução de aditivos contratuais e ao aumento da precisão orçamentária (AÉREO, 2020; PARANÁ, n.d.; METROFORM, n.d.). Tais experiências estão alinhadas com boas práticas discutidas em estudos sobre implementação BIM organizacional (NIELSEN; JUNIOR; PELLANDA, 2023) e maturidade digital aplicada a *facility management* (SAMPAIO *et al.*, 2023; SAMPAIO *et al.*, 2023).

O **Nível 3**, por sua vez, ainda não foi alcançado operacionalmente, mas já se encontra claramente delineado no planejamento estratégico. Nesse nível, espera-se a integração plena dos modelos BIM com gestão de ativos, sistemas corporativos e processos de operação e manutenção (O&M), aproximando-se de abordagens de gêmeos digitais e modelos avançados de BIM para ativos (MUNIR *et al.*, 2019; GOMES, 2020; VARIOS, n.d.). No contexto do COMAER, o SGI representa justamente esse objetivo de Nível 3. Há três conjuntos de evidências principais:

- **Mandato legal** – O Decreto nº 10.306/2020 estabelece a utilização do BIM na administração pública federal, com foco não apenas na fase de projeto, mas também na capacidade de gerenciamento e manutenção das obras e serviços de engenharia, em horizonte temporal que alcança a década de 2020 (REPÚBLICA., 2020; SPBIM, n.d.).
- **Base técnica** – O MCA 86-1 exige o uso do formato aberto IFC (OpenBIM) como padrão de interoperabilidade para a troca de modelos, pré-requisito técnico para integração de dados de O&M e para a construção de uma base de gestão patrimonial integrada (AERONÁUTICA, 2021; AERONÁUTICA, 2025; AERONÁUTICA, n.d.). Essa exigência converge com a normalização internacional conduzida pela ISO e com a adoção de padrões para uso do BIM no Brasil (TÉCNICAS, 2018a; TÉCNICAS, 2019; ??; ALTOQI, n.d.).
- **Demanda organizacional** – O Workshop HUBBIM, realizado no âmbito da engenharia da FAB, destacou explicitamente a necessidade de uma “plataforma colaborativa na nuvem” como condição para consolidar a gestão da informação em BIM em toda a Força (INFRAITA, 2024; INFRA-ITA, n.d.; ??). Essa demanda é coerente com o ambiente de CDE de Nível 3 descrito na literatura internacional de maturidade BIM (BEW; RICHARDS, 2008; MONDUE, 2019; SOFTWARE, n.d.).

A Tabela 4.1 a seguir apresenta o enquadramento da maturidade BIM do COMAER com base no modelo conceitual de Bew e Richards (BEW; RICHARDS, 2008), frequentemente utilizado como referência na literatura (MONDUE, 2019; SOFTWARE, n.d.):

| Nível | Descrição do Nível (Bew–Richards) | Evidências na FAB | Avaliação |
|----------------|---|--|---|
| Nível 0 | 2D CAD não gerenciado; colaboração mínima e sem padronização. | Transição explícita do 2D para o BIM em projetos iniciais da CISCEA (AÉREO, 2020). | Superado |
| Nível 1 | Modelagem 3D disciplinar, coexistência com 2D; início de padronização e uso de CDE. | Publicação do MCA 86-1 (AERONÁUTICA, 2021); estruturação do LabBIM no ITA (MARIA; LIMA, 2019). | Implementado e em padronização |
| Nível 2 | BIM colaborativo com modelos federados; interoperabilidade entre disciplinas. | Projeto Querari (CEPE) com modelos federados em nuvem (CREA-SC, 2025); Projeto TWR-BI (CISCEA) com usos 4D/5D (AÉREO, 2020; PARANÁ, n.d.). | Atingido em bolsões de excelência |
| Nível 3 | iBIM integrado com foco em ciclo de vida, O&M e OpenBIM (IFC). | Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020); Exigência de IFC no MCA 86-1 (AERONÁUTICA, 2021; AERONÁUTICA, 2025). | Em estratégia (objetivo de longo prazo definido) |

TABELA 4.1 – Mapeamento da Maturidade BIM da FAB segundo Bew–Richards

4.3.2 Síntese Consolidada da Análise de Maturidade

A tabela a seguir integra a avaliação de maturidade do COMAER considerando múltiplos referenciais teóricos: **Bew–Richards, Succar, Dimensões BIM (3D–7D) e LOD/LOI**, conforme recomendado na literatura contemporânea sobre maturidade organizacional em BIM (NIELSEN; JUNIOR; PELLANDA, 2023; SAMPAIO *et al.*, 2023; MUNIR *et al.*, 2019).

TABELA 4.2 – Diagnóstico Consolidado de Maturidade BIM no COMAER

| Framework | Diagnóstico de Maturidade | Evidências-Chave | Objetivo Estratégico / Próximo Desafio |
|----------------------------|---|---|--|
| Bew-Richards (2008) | Quadro híbrido: Nível 1 implementado; Nível 2 atingido em bolsões; Nível 3 em construção estratégica. | MCA 86-1 (AERONÁUTICA, 2021; AERONÁUTICA, 2025); Projeto Querari (??); Projeto TWR-BI (AÉREO, 2020); Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020). | Escalar o Nível 2: reduzir assimetrias entre unidades e preparar a transição ao Nível 3 (INFRAITA, 2024). |
| Succar – Tecnologia | Capacidade em Estágio 2 (Colaboração); em direção ao Estágio 3 (Integração). | Portaria GM-MD nº 5.261/2022 (MINISTRO, 2022); CDE em nuvem no Projeto Querari (ENGENHARIA., 2025); IFC como padrão no MCA 86-1 (AERONÁUTICA, 2021). | Implementar CDE único e centralizado , interoperável, para toda a Força Aérea (INFRAITA, 2024). |
| Succar – Processo | Capacidade em Estágio 2; Maturidade Nível 2 (Definido), caminhando para Nível 3 (Gerenciado). | Processos documentados no BIM Mandate (AERONÁUTICA, 2021); Autoavaliação HUB-BIM (INFRAITA, 2024); Feedback CISCEA-DIRINFRA (PARANÁ, n.d.). | Uniformizar processos entre unidades, reduzir redundâncias e consolidar a gestão por indicadores. |
| Succar – Política | Capacidade Estágio 3 (Ciclo de Vida); Maturidade elevada. | Alinhamento normativo em cadeia: Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020); Portaria GM-MD nº 5.261/2022 (MINISTRO, 2022); MCA 86-1 (AERONÁUTICA, 2021; AERONÁUTICA, 2025). | Usar a robustez normativa como alavanca para elevar maturidade tecnológica e processual. |

TABELA 4.3 – Diagnóstico Consolidado de Maturidade BIM no COMAER - continuação

| Framework | Diagnóstico de Maturidade | Evidências-Chave | Objetivo Estratégico / Próximo Desafio |
|----------------------|---|--|---|
| Dimensões BIM | 3D consolidado; 4D/5D em implementação avançada; 7D como meta estratégica (2028). | Usos 4D/5D no CEPE e CISCEA (AÉREO, 2020; ENGENHARIA., 2025; BRASILEIRA, 2025); 7D previsto em diretrizes ligadas ao Decreto nº 10.306/2020 (REPÚBLICA., 2020). | Implementar plenamente a dimensão 7D (Gestão de Ativos) até 2028, integrando BIM, SGI e Digital Twins. |
| LOD / LOI | LOD 300–400 em projetos recentes; LOI elevado e padronizado. | Projetos CEPE/COMARA com geometria complexa e alto grau de informação (AUTODESK, 2024b); LOI normatizado pelo MCA 86-1 e pela NBR 15965 (AERONÁUTICA, 2021; TÉCNICAS, 2014). | Garantir LOD 500 <i>as-built</i> com LOI completo para habilitar a gestão 7D e gêmeos digitais (MUNIR <i>et al.</i> , 2019; GOMES, 2020). |

4.4 Benefícios da metodologia BIM na gestão de ativos

A análise dos resultados demonstra que a aplicação da metodologia BIM–FM–DT no contexto institucional do COMAER oferece benefícios concretos e multidimensionais, tanto em termos técnicos quanto administrativos. Os impactos mais significativos concentram-se em quatro eixos: eficiência operacional, governança da informação, sustentabilidade e inovação tecnológica.

4.4.1 Eficiência operacional

A adoção do BIM como base para o gerenciamento de instalações permite consolidar, em um modelo único, informações de projeto, execução e operação, eliminando redundâncias e perdas de dados. Essa integração resulta em redução média de 15% a 25% nos custos operacionais, conforme estimativas de estudos internacionais (EASTMAN *et al.*, 2018; HAKIMI; ALI; WANG, 2024), além de diminuir em até 40% o tempo gasto em manutenção corretiva devido à adoção de análise preditiva e controle preventivo.

No ambiente militar, tais ganhos traduzem-se em maior disponibilidade de infraestrutura

crítica, como hangares, sistemas de climatização e pistas de pouso, otimizando o ciclo de manutenção e assegurando a continuidade das operações.

4.4.2 Governança e interoperabilidade da informação

O BIM viabiliza uma governança informacional baseada em dados únicos, versionados e auditáveis, reduzindo inconsistências entre disciplinas e melhorando a rastreabilidade das decisões. O uso de padrões abertos, como o IFC (TÉCNICAS, 2018a), o COBie e as diretrizes da ISO 19650 (TÉCNICAS, 2018b), assegura que as informações de projeto sejam reutilizáveis em fases posteriores do ciclo de vida, formando uma linha de base informacional contínua.

Para o COMAER, isso implica maior transparência administrativa, melhor fiscalização de contratos e integração com sistemas corporativos, fortalecendo os mecanismos de controle interno e accountability.

4.4.3 Sustentabilidade e ciclo de vida

Com a incorporação das dimensões 6D e 7D, o BIM transforma-se em um instrumento de análise de desempenho ambiental e energético, permitindo avaliar o ciclo de vida das edificações desde o projeto até a operação. As simulações e o monitoramento por sensores IoT facilitam o planejamento sustentável e a gestão de recursos, alinhando o COMAER às diretrizes de eficiência energética e sustentabilidade estabelecidas pelo Governo Federal.

4.4.4 Inovação tecnológica e digitalização

A integração com tecnologias de Digital Twin amplia o potencial do BIM, promovendo a digitalização completa da infraestrutura física e permitindo a adoção de práticas de manutenção inteligente. A criação de gêmeos digitais de instalações críticas possibilita a simulação de cenários, a detecção de falhas e o controle remoto, consolidando o conceito de Infraestrutura Inteligente de Defesa.

Dessa forma, o BIM deixa de ser apenas uma ferramenta técnica e passa a constituir um elemento estratégico de transformação digital institucional, elevando o nível de maturidade tecnológica do COMAER e posicionando a Aeronáutica como referência nacional em gestão digital de ativos públicos.

5 Conclusão, próximos passos e trabalhos futuros

5.1 Conclusões

A presente pesquisa alcançou seus objetivos ao propor e demonstrar a viabilidade da **implantação de um sistema de gestão de infraestrutura baseado na metodologia BIM no âmbito do COMAER**, integrando conceitos de **Facility Management (FM)** e **Digital Twin (DT)** em uma plataforma web interoperável e segura.

O estudo contribui de forma inovadora para o campo da Engenharia Civil e da Administração Pública, ao abordar uma aplicação ainda incipiente da metodologia BIM voltada à **gestão e manutenção de ativos institucionais**, especialmente no contexto de infraestruturas militares.

A investigação revelou que o BIM deve ser compreendido não apenas como um modelo tridimensional, mas como uma **plataforma de governança da informação**. A integração com sistemas de manutenção e monitoramento permite uma abordagem proativa e colaborativa da gestão de ativos, promovendo **eficiência, rastreabilidade, sustentabilidade e segurança institucional**.

Os resultados demonstraram que a aplicação do modelo **BIM–FM–DT** proporciona ganhos tangíveis:

Melhoria da eficiência operacional, com redução de custos e tempos de resposta;

Aprimoramento da qualidade da informação, evitando retrabalhos e inconsistências;

Integração plena entre planejamento, execução e operação, fortalecendo o ciclo de vida dos ativos;

Aumento da transparência administrativa, com auditoria digital e controle de processos;

Promoção da sustentabilidade e inovação, alinhadas às políticas públicas de modernização e transformação digital.

A **plataforma web proposta**, com arquitetura modular e compatível com os padrões ISO 19650, 55000 e 27001, constitui uma **solução institucional replicável**. Seu uso possibilita a

formação de uma base de dados unificada para edificações e instalações da Aeronáutica, permitindo que decisões de investimento, manutenção e expansão sejam baseadas em evidências e indicadores objetivos.

Assim, a pesquisa cumpre duplo papel: **científico**, ao avançar o conhecimento sobre a integração BIM–FM–DT no contexto brasileiro, e **estratégico**, ao fornecer diretrizes concretas para a modernização da gestão de infraestrutura do COMAER. O BIM, aplicado como metodologia de gestão e manutenção, representa um salto qualitativo rumo à **gestão digital de ativos**, consolidando o COMAER como protagonista da inovação tecnológica na administração pública de defesa.

5.2 Futuros trabalhos

O avanço deste estudo abre caminho para diversas frentes de desenvolvimento e aprofundamento técnico e institucional. Recomenda-se a continuidade da pesquisa e da implementação prática a partir das seguintes iniciativas:

1. **Especialização do Hub-BIM (ITA) em DT** - Estabelecer um núcleo permanente para **padronização, capacitação e curadoria de modelos BIM**, responsável por **desenvolver bibliotecas institucionais e gerenciar os dados** centralizados das infraestruturas, de forma a suportar as atividades já existentes nas outras frentes de BIM.
2. **Projeto-piloto de implantação BIM-FM-DT** - Implementar a plataforma em unidades estratégicas, como o **Centro de Lançamento de Alcântara (CLA)** e o **Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa**, testando o modelo em condições reais de operação, manutenção e interoperabilidade.
3. **Desenvolvimento de bibliotecas paramétricas próprias** - Criar bibliotecas BIM compatíveis com **IFC 4.3** e **COBie**, contendo informações técnicas, construtivas e de manutenção específicas para edificações e sistemas típicos da Aeronáutica (hangaragem, pistas, residências funcionais, torres de controle etc.).
4. **Expansão da interoperabilidade com sistemas legados** - Integrar a plataforma BIM-FM aos sistemas corporativos já utilizados (SIPAC, SIGA, SEI e SGSI), por meio de **APIs seguras e controladas**, assegurando a continuidade administrativa e a rastreabilidade de informações.
5. **Desenvolvimento de indicadores de maturidade e desempenho BIM-FM** - Estruturar um conjunto de métricas baseadas no **CRT-BIM (2024)** e na **Estratégia BIM BR**, capazes de medir a evolução da adoção BIM nas unidades do COMAER e os resultados alcançados em termos de eficiência, custo e sustentabilidade.

Com essas iniciativas, o COMAER poderá consolidar uma cultura de **gestão orientada por dados e baseada em BIM**, integrando tecnologia, processos e pessoas. O resultado esperado é uma **Força Aérea mais eficiente, sustentável e digitalmente soberana**, apta a responder às demandas contemporâneas de infraestrutura e defesa nacional.

Referências

AERONÁUTICA, C. D. **Diretriz de Planejamento Institucional**. 2022

AERONÁUTICA, D. D. I. D. **017-BCA – Anexo 17 – MCA 86-1 (DIRINFRA)**. n.d. Scribd. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://it.scribd.com/document/787788203/017-BCA-ANEXO-17-MCA-86-1-DIRINFRA>

AERONÁUTICA, C. D. A. D. de Infraestrutura da. **MCA 86-1: Manual de Modelagem BIM – BIM Mandate**. 2021. Portaria DIRINFRA nº 38/ANCN, de 7 de dezembro de 2021

AERONÁUTICA, C. D. A. D. de Infraestrutura da. **Portaria DIRINFRA nº 199/AASA, de 23 de julho de 2025: Aprova o Manual de Modelagem BIM – BIM Mandate (MCA 86-1)**. 2025

AERONÁUTICA, C. da. **Diretriz de Engenharia e Construção do Comando da Aeronáutica (DEC-COMAER)**. 2020. Documento institucional interno

ALTOQI. **ISO estabelece padrões internacionais para uso do BIM**. n.d. Blog AltoQi. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://blog.altoqi.com.br/normas/iso-estabelece-padroes-internacionais-para-uso-do-bim>

AMAZÔNICA, C. D. A. C. de Aeroportos da R. **Estudo Técnico Preliminar: Contratação de treinamento na metodologia BIM**. 2022. Processo nº 00394429000100/2022-1434

ARRUDA, L. C. **Aplicação da metodologia BIM na fiscalização de obras no âmbito do Comando da Aeronáutica**. São José dos Campos: [s.n.], 2022

AUTODESK. **Autodesk InfraWorks 2025**. 2024. Available at: <https://www.autodesk.com/products/infraworks/overview>

AUTODESK. **COMARA aprimora projetos aeroportuários com uso de BIM**. 2024. Available at: <https://www.autodesk.com/br/support/partners/success-stories/comara-aprimora-projetos-aeroportuarios-com-uso-de-bim/10203>.

AÉREO, C. D. A. D. de Controle do E. **CISCEA desenvolve o primeiro projeto integralmente em tecnologia BIM**. 2020. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao=pg_noticiamateria=ciscea-desenvolve-o-primeiro-projeto-integralmente-em-tecnologia-bim

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011

- BARROS, N. N. **Integração do BIM com Avaliação do Ciclo de Vida e Internet das Coisas para Gestão de Infraestrutura Pública**. Dissertation (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024
- BEW, M.; RICHARDS, M. **BIM Maturity Model**. 2008. BuildingSMART UKI / Bew-Richards. Documento técnico amplamente citado na literatura BIM. Available at: <https://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/04/BIS-BIM-strategy-Report.pdf>
- BIMFORUM. **Supplement to LOD Specification 2021 – 2022 Edition**. Washington, DC: [s.n.], 2022
- BIMFORUM. **Level of Development (LOD) Specification 2024 – Part I**. Washington, DC: [s.n.], 2024
- BRASIL. **Guia Construa Brasil: BIM, IoT e Gestão de Ativos**. Brasília: MDIC/Secretaria de Desenvolvimento da Indústria, Comércio e Serviços, 2023
- BRASIL. **Building Information Modeling – Princípios e Tendências**. Brasília: Ministério da Economia, 2024
- BRASIL. **Plano Nova BIM BR v3.0**. Brasília: Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos, 2024
- BRASILEIRA, F. A. **Notícias sobre ‘CEPE’**. Outubro 2025. Acesso em: 10 nov. 2025. Available at: <https://www.fab.mil.br/noticias/tag/CEPE>
- CARNEIRO, N. *et al.* O uso da metodologia 4d e 5d para o gerenciamento e planejamento de obras: revisão sistemática da literatura. *In: Anais do 7º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto. Proceedings* [...]. Londrina: PPU/UEL/UEM, 2021
- CIVIL, B. M. da Infraestrutura. Secretaria Nacional de A. **Manual de Projetos Aeroportuários**. 2021. Parceria SAC/MINFRA e Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. v. único. Brasília, DF: SAC, 2021.
- CONSTRUÇÃO, C. B. D. I. D. **Portaria define empreendimentos, programas e iniciativas para disseminação do BIM no âmbito do MD**. Outubro 2022. Available at: <https://cbic.org.br/portaria-define-empreendimentos-programas-e-iniciativas-para-disseminacao-do-bim-no-ambito-do-md/>
- CREA-SC. **Sustentabilidade e inovação marcam o segundo dia do 7º Congresso BIM CREA-SC**. Outubro 2025. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://portal.crea-sc.org.br/sustentabilidade-e-inovacao-marcam-o-segundo-dia-do-7o-congresso-bim-crea-sc/>
- CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010
- CRT-BIM. **Critérios Técnicos de Maturidade BIM na Administração Pública Federal**. Brasília: Comitê Estratégico BIM-BR, 2024
- DEFESA, B. M. da. **Portaria Normativa nº 56/GM-MD, de 6 de julho de 2020**. Julho 2020. Revogada pela Portaria GM-MD nº 5.261, de 2022. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 15 jul. 2020.

- DEFESA, B. M. da. **Portaria GM-MD nº 5.261, de 17 de outubro de 2022: Define os empreendimentos, programas e as iniciativas de média e grande relevância para a disseminação do Building Information Modelling – BIM no âmbito do Ministério da Defesa**. 2022. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, n. 203, p. 12, 25 out. 2022. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: https://mdlegis.defesa.gov.br/norma_html/?NUM = 5261ANO = 2022SER = A
- EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2018
- ENAP. **Noções de Implantação BIM – Módulo 3**. n.d.
- ENGENHARIA., C. D. A. C. de Estudos e Projetos de. **Prêmio BIM em Projetos 2025 | Categoria CREA - CEPE QUERARI**. Outubro 2025. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=HvWIsq2NkKo>
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008
- GOMES, P. F. P. **Metodologia BIM aplicada à gestão de ativos**. Dissertation (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2020
- HAKIMI, S.; ALI, M.; WANG, L. Digital twin-enabled smart facility management: A bibliometric review. **Scientific Reports**, v. 14, n. 5, p. 1–18, 2024
- HAKIMI, S.; ALI, M.; WANG, L. Digital twin-enabled smart facility management: A bibliometric review. **Scientific Reports**, v. 14, n. 5, p. 1–18, 2024
- INFRA-ITA. **BIM – INFRA-ITA**. n.d. WordPress. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://infraita.wordpress.com/tag/bim/>
- INFRAESTRUTURA, B. M. da Defesa. Comando da Aeronáutica. Diretoria de. **Portaria DIRINFRA nº 38/ANCN, de 7 de dezembro de 2021: Aprova a edição do MCA 86-1 “Manual de Modelagem BIM – BIM Mandate”**. 2022. Boletim do Comando da Aeronáutica, Rio de Janeiro, n. 017, 25 jan. 2022
- INFRAITA. **Workshop HUBBIM avalia o avanço da implementação do BIM na Força Aérea Brasileira**. 2024. INFRAITA (Wordpress). Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://infraita.wordpress.com/tag/bim/>
- KASSEM, M.; AMORIM, S. Bim adoption in brazil and the european union: A comparative study. **Journal of Construction Engineering and Management**, 2015
- KHATTRA, N.; JAIN, A. Building information modeling: A comprehensive overview of concepts and applications. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 150, n. 2, p. 110–127, 2024
- LUCENA, A. F. E.; SOARES, D. G. Grau de maturidade do uso do bim 4d e bim 5d em empresas construtoras. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 1–12, 2023
- LUEDY, L. R. **Requisitos para Níveis de Desenvolvimento em Modelos BIM**. Dissertation (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2019
- MANZIONE, L. **Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o Uso do BIM**. Thesis (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013

- MARIA, M. M.; LIMA, M. G. d. Metodologia de ensino da disciplina de gestão de obras com aplicação das técnicas do bim na engenharia civil-aeronáutica do ita. *In: Encontro Nacional sobre Ensino de BIM (ENEBIM). Proceedings [...]. [S.l.: s.n.]*, 2019. Disponível em: eventos.antac.org.br. Available at: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/225>
- METROFORM. **Redução de custos: o uso do BIM no projeto**. n.d. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://metroform.com.br/blog/reducao-de-custos-o-uso-do-bim-no-projeto/>
- MINISTRO, B. M. da Defesa. Gabinete do. **Portaria GM-MD nº 5.261, de 17 de outubro de 2022**. Outubro 2022. Define os empreendimentos, programas e as iniciativas de média e grande relevância para a disseminação do Building Information Modelling - BIM no âmbito do Ministério da Defesa. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 25 out. 2022.
- MONDUE, S. **Explaining the levels of BIM**. 2019. Construction Management, 23 abr. 2019. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://constructionmanagement.co.uk/explaining-levels-bim/>
- MORAIS, M. A.; RIBEIRO, R. *et al.* Bim para gerenciamento, operação e manutenção: revisão cientométrica e sistemática. **SciELO**, 2024
- MUNIR, M. *et al.* Development of a bimasset maturity model. 2019
- NIELSEN, O. A.; JUNIOR, G. M.; PELLANDA, P. C. Contribuição para implementação bim em organizações do setor de arquitetura, engenharia e construção. *In: Anais do 13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (SIBRAGEC). Proceedings [...]. Aracaju: SIBRAGEC*, 2023
- PARANÁ, S. **CISCEA inova e implanta BIM com auxílio do Senai no Paraná**. n.d. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/blog/ciscea-inova-e-implanta-bim-com-auxilio-do-senai-no-parana-1-36126-458665.shtml>
- RADZI, A.; SHARIF, N. *et al.* Relationship between digital twin and building information modeling: A systematic review and future directions. **Automation in Construction**, v. 155, p. 105–327, 2023
- REPÚBLICA., B. P. da. **Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018**. Maio 2018. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 18 mai. 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling.
- REPÚBLICA., B. P. da. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020**. Abril 2020. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 3 abr. 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal [...].
- REPÚBLICA, B. P. da. **Decreto nº 11.888, de 19 de janeiro de 2024**. Janeiro 2024. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 22 jan. 2024. Atualiza a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – Estratégia BIM BR. Available at: https://www.planalto.gov.br/ccivil03/_Ato2023-2026/2024/Decreto/D11888.htm
- REVOLTI, J.; PINTON, L. *et al.* From building information modeling to construction digital twin: A conceptual framework. **Automation in Construction**, v. 161, p. 105–707, 2024

- SAMPAIO, R. P. *et al.* O nível de maturidade digital bim no setor de facility management em portugal. *In: Atas do 5º Congresso Português de Building Information Modelling. Proceedings* [...]. Universidade do Minho, 2023. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://ebooks.uminho.pt/index.php/uminho/catalog/view/142/202/3262>
- SAMPAIO, R. P. *et al.* O nível de maturidade digital bim no setor de facility management em portugal. *In: 5º Congresso Português de Building Information Modelling. Proceedings* [...]. Portugal: [s.n.], 2023. p. 421–422. Available at: <https://ebooks.uminho.pt/index.php/uminho/catalog/view/142/202/3262>
- SILVA, G. D.; BALZ, A.; PEDROZO, C. Eficiência das dimensões dos processos bim no ciclo de vida das edificações. **Revista +Ingenio**, v. 3, n. 1, p. 9–18, 2021
- SOFTWARE, A. **BIM Maturity Levels: BIM Level 0**. n.d. BibLus. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-maturity-levels-bim-level-0/>
- SPBIM. **Decreto BIM nº 10.306 de 2020**. n.d. SPBIM – Arquitetura Digital. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://spbim.com.br/decreto-bim-2020/>
- STUMPP, M. M.; ALVES, R. V.; MANICA, C. R. Bim maturity index: Analysis and comparison of architecture office’s bim performance in porto alegre= evaluación de índice de madurez bim: Análisis y comparación del desempeño bim de las oficinas de arquitectura en porto alegre. **Building & Management**, v. 5, n. 2, p. 48–56, 2021
- SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009
- TRANSPORTES, D. N. D. I. D. **Caderno de Requisitos Técnicos BIM do DNIT**. 2024. Portal Gov.br. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/mosaico-de-servicos/documentos-tecnicos-bim/CRTBIM2024.pdf>
- TÉCNICAS, A. B. D. N. **ABNT NBR 15965: Sistema de classificação da informação da construção**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014. ABNT
- TÉCNICAS, A. B. D. N. **NBR ISO 16739-1: Industry Foundation Classes (IFC) para troca de dados na indústria da construção – Parte 1: Visão geral, conceitos e princípios**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2018. ABNT
- TÉCNICAS, A. B. D. N. **NBR ISO 19650-1: Organização e digitalização das informações sobre edificações e obras de engenharia civil, incluindo BIM – Parte 1: Conceitos e princípios**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2018. ABNT
- TÉCNICAS, A. B. D. N. **ABNT NBR ISO 19650-1: Organização e digitalização de informação sobre obras de construção, incluindo a modelagem da informação da construção (BIM) – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção – Parte 1: Conceitos e princípios**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2019. ABNT
- VARIOS. **BIM maturity model for higher education institutions**. n.d. SciELO. Acesso em: 13 nov. 2025. Available at: <https://www.scielo.br/j/ac/a/cfKwhCtwVYZPtNmXPMkRpvb>

WANG, L.; CHEN, N. Towards digital-twin-enabled facility management: The natural language processing model for managing facilities in buildings. **Intelligent Buildings International**, v. 16, n. 2, p. 73–87, 2024

ZHOU, W. Multi-dimensional model and interactive simulation of intelligent construction based on digital twins. **Scientific Reports**, v. 15, p. 13012, 2025

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

| | | | |
|---|--|--|---|
| 1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p> | 2. DATA <p style="text-align: center;">25 de novembro de 2025</p> | 3. DOCUMENTO Nº <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-146/2025</p> | 4. Nº DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">52</p> |
| 5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Sistema de gestão de infraestrutura utilizando Metodologia BIM no âmbito do COMAER | | | |
| 6. AUTOR(ES): Guilherme Lacerda O. Celestino | | | |
| 7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA | | | |
| 8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: BIM; Gestão de ativos; Estruturas; Digital Twin; Interoperabilidade. | | | |
| 9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Modelo da informação da construção; Implementação de projetos; Militares; Força Aérea Brasileira; Desenvolvimento de pessoal; Engenharia civil. | | | |
| 10. APRESENTAÇÃO: (X) Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação. Programa de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Área de . Orientador: Prof. Dr. Adalberto Santos Dupont. Coorientadora: Pauline DULcinéia Mesquita Santiago. Defesa em 13/11/2025. Publicada em 25/03/2015. | | | |
| 11. RESUMO: Este trabalho analisa o sistema de gestão de infraestrutura do Comando da Aeronáutica (COMAER) sob a ótica da metodologia Building Information Modeling (BIM). A pesquisa, de natureza aplicada e qualitativa, baseou-se em revisão bibliográfica, análise documental e avaliação normativa, buscando identificar o nível de maturidade organizacional e o alinhamento às diretrizes da Estratégia Nacional BIM BR e às normas ISO 19650 e 55000. Os esforços desenvolvidos incluíram o mapeamento das políticas institucionais, a análise do BIM Mandate (MCA 86-1) e o estudo de projetos-piloto conduzidos por CISCEA, CEPE, COMARA e ITA, que demonstraram usos de BIM 3D, 4D, 5D e aplicações iniciais de 7D voltadas à gestão de ativos. Identificou-se que a FAB opera entre os níveis 1 e 2 de maturidade BIM, com iniciativas avançadas em unidades específicas e planejamento consolidado para alcançar integração plena (Nível 3). Os resultados indicam que o BIM melhora a eficiência operacional, a qualidade e rastreabilidade das informações, a precisão de projetos e custos, além de apoiar a transição futura para modelos de gestão baseados em Digital Twin. Conclui-se que a adoção estruturada do BIM representa um vetor estratégico de modernização da gestão de infraestrutura no COMAER, fortalecendo a governança digital e a sustentabilidade dos ativos militares. Palavras-chave: BIM. Gestão de Infraestrutura. Maturidade BIM. Facility Management. Digital Twin. Interoperabilidade. COMAER. | | | |
| 12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;">(X) OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO</p> | | | |