

SUBMETIDO 21/01/2022

APROVADO 25/03/2022

PUBLICADO ON-LINE 25/04/2022

PUBLICADO 10/10/2023

EDITORA ASSOCIADA

Nelma Mirian Chagas Araújo Meira

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6608>

ARTIGO ORIGINAL

Proposta de metodologia baseada em BIM para elevação da segurança em aeroportos brasileiros: estudo de caso no Aeroporto de Vitória, Espírito Santo, Brasil

 Guilherme Guignone ^{[1]*}

 João Luiz Calmon ^[2]

[1] gguignone@infraero.gov.br

Empresa Brasileira de Infraestrutura
Aeroportuária (Infraero), Brasil

[2] joao.gama@ufes.br

Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Universidade Federal do Espírito
Santo (UFES), Brasil

RESUMO: Uma das maiores preocupações na Engenharia Aeroportuária é garantir que padrões de segurança estabelecidos sejam atendidos. Este artigo objetiva contribuir para a elevação de desempenho da segurança aeroportuária ao propor uma estrutura inicial de metodologia de segurança, baseada em BIM (*Building Information Modeling*), para aeroportos brasileiros, aplicável tanto na fase de construção como na de operação de empreendimentos. Como estudo de caso para a implementação da metodologia, adotaram-se os projetos de engenharia do recém-inaugurado Aeroporto de Vitória, Espírito Santo, onde ocorreu a execução de um complexo aeroportuário completo, computando mais de 365.000 m² de área construída. Escolheu-se esse aeroporto como caso de estudo por ele abranger, praticamente, todos os principais componentes aeroportuários e por ter tido projetos e construção recentes, alinhados com as atuais demandas e regulamentos de engenharia e de segurança aeroportuária. Em função da confiabilidade de identificação dos projetos de engenharia, de sua atualização tecnológica e por contemplar a maioria dos sistemas aeroportuários, este aeroporto se apresenta como um relevante caso de estudo. Propõe-se que a metodologia seja aplicada em aeroportos brasileiros visando elevar a comunicação entre os *stakeholders* do projeto e a confiabilidade das informações obtidas e compartilhadas, diminuir o tempo-resposta para resolução de inconsistências e orientar com relação a possíveis soluções tecnológicas que possam ser adotadas com o intuito de aumentar o desempenho na segurança aeroportuária.

Palavras-chave: aeroportos; *Building Information Modeling* (BIM); planejamento de segurança; segurança aeroportuária.

Proposal of a BIM-based methodology to increase security in Brazilian

*Autor para correspondência.

airports: a case study at Vitória Airport, Espírito Santo, Brazil

ABSTRACT: *One of the biggest concerns in Airport Engineering is to ensure that established safety standards are met. This article aims at contributing to the improvement of airport security performance by proposing an initial structure of a security methodology, based on BIM, for Brazilian airports, applicable both in the construction and operation phases of projects. As a case study for the implementation of the methodology, the engineering projects of the newly opened Vitória Airport, Espírito Santo, were adopted, where a complete airport complex was built, comprising more than 365,000 m² of built area. This airport was chosen as a case study because it covers practically all the main airport components and because it has had recent projects and construction, in line with the current demands and regulations of engineering and airport security. Due to the reliability of the identification of the engineering projects, their technological update and the fact that this airport includes the majority of airport systems, it is a relevant case study. It is proposed that the methodology be applied at Brazilian airports in order to increase communication between project stakeholders and the reliability of information obtained and shared, reduce response time for resolving inconsistencies and provide guidance regarding possible technological solutions that can be adopted with the aim of increasing airport security performance.*

Keywords: *airports; airport safety; Building Information Modeling (BIM); safety planning.*

1 Introdução

No Brasil, de acordo com o Observatório Digital de Segurança e Saúde no Trabalho do Ministério Público do Trabalho (BRASIL, 2022b), nota-se em 2020 uma redução do número de acidentes de trabalho – totalizando 446.881 ocorrências – em relação a 2019, com 639.325 ocorrências. Entretanto, apesar dessa redução, os números permanecem elevados. Caso fosse adotada a média de 2016 até 2020, teríamos 569.005 acidentes de trabalho por ano nesse período, tornando-se necessários esforços para a continuidade do processo de redução desses números. Já o Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (BRASIL, 2022a) aponta que em 2020 ocorreram 445.814 acidentes de trabalho em todo o país. Apesar de o Anuário também apontar uma redução do número de acidentes em 2020, comparando com 2019, de acordo com o SINDUSCON-SP (SINDUSCON-SP, 2021), os dados do Anuário apontam que a indústria da construção civil apresentou a ocorrência de 25.960 acidentes em 2020, números que ainda precisam ser melhorados.

Como possíveis causas de acidentes no âmbito da construção civil, podem ser mencionadas as deficiências ou as ausências na execução do planejamento da segurança na construção e a não execução do projeto e do planejamento da construção de maneira integrada ao planejamento da segurança (CHANTAWIT; HADIKUSUMO, 2003; ZHANG *et al.*, 2011). A não integração desses setores poderá ocasionar prejuízos, principalmente relacionados à gestão da comunicação durante a obra (AZHAR; BEHRINGER, 2013; GAMBATESE; HINZE, 1999; ZHOU; WHYTE; SACKS, 2012).

Esforços em relação à execução do planejamento da segurança são necessários desde o início da concepção do projeto. As etapas posteriores devem também contemplar tais premissas, ou seja, estabelecê-las no planejamento da construção, na execução, nas ampliações e nas reformas, na operação e nas manutenções. Quando essas premissas são seguidas, a tendência é lograr resultados benéficos, como um ambiente de trabalho produtivo e a mitigação de riscos (WALY; THABET, 2003).

O planejamento de segurança, geralmente, consiste na identificação de potenciais perigos, assim como na escolha das medidas de segurança correspondentes. O processo de construção poderá incluir atividades que são potencialmente perigosas. Essas precisam ser identificadas nas etapas de planejamento e corrigidas. Nos últimos anos, consolidou-se a utilização da metodologia BIM (*Building Information Modeling*) na indústria da construção, visando construir um melhor planejamento e gerenciamento para o desenvolvimento de projetos de Engenharia (ARAYICI *et al.*, 2011).

Com base em pesquisadores diversos, comprovou-se que o modelo BIM 4D poderia ajudar a atenuar o risco à segurança ao longo das fases do projeto, integrando o planejamento de segurança ao cronograma de execução da obra (AZHAR *et al.*, 2012; BENJAORAN; BHOKHA, 2010; SULANKIVI *et al.*, 2013; ZHOU; DING; CHEN, 2013). A utilização de uma estrutura de regras de segurança, principalmente em empreendimentos de alta complexidade, é recomendada a fim de reduzir os perigos. A sua utilização é aconselhável também na fase de operação do empreendimento, na consideração dos procedimentos rotineiros de segurança da edificação (rotas de fuga, segurança contra incêndios, riscos ergonômicos, riscos causados por degradação ou mau uso de equipamentos e instalações) e procedimentos de manutenções e de reformas desta.

Algumas pesquisas apontam os usos do BIM como benéficos para o planejamento da segurança da construção; por exemplo, Zulkifli, Takim e Nawawi (2016) fizeram uma proposta de estrutura inicial de regras para sistemas de segurança para projetos baseados em BIM na Malásia, e Melzner *et al.* (2013) implementaram um sistema de verificação de regras de segurança – baseado em BIM – em um projeto de arranha-céu.

A aplicação de sistemas de segurança baseados em BIM pode ser uma interessante opção para utilização em complexos aeroportuários. Os aeroportos despontam como um ambiente de elevada complexidade, onde o planejamento nas fases de pré-construção, de construção e de operação é fundamental. Young e Wells (2014) evidenciam essa complexidade comparando a administração de um aeroporto com uma cidade constituída por uma enorme variedade de instalações, sistemas, usuários, trabalhadores, regras e regulamentações, negócios e comércio.

Pesquisas têm demonstrado o uso do BIM em aeroportos como algo promissor (ÁLVAREZ *et al.*, 2021; BIANCARDO *et al.*, 2020; KESKIN; SALMAN, 2020). De acordo com Abbondati *et al.* (2020), o uso da metodologia BIM é essencial para desenvolver modelos inteligentes para as construções e o planejamento e gestão de projetos de infraestrutura. A modelagem BIM aplicada a projetos de infraestrutura, como de aeroportos, permite a inserção nos modelos de informações sobre materiais, certificações, procedimentos de manutenção e parâmetros estruturais e funcionais.

Entretanto, nota-se que há carência de pesquisas abordando metodologias de gestão de segurança baseadas em BIM para aplicação em aeroportos. Há importantes benefícios que precisam ser explorados na integração do BIM com a segurança na engenharia aeroportuária.

Os aeroportos apresentam demandas complexas. As soluções para elevar a segurança necessitam ser realizadas de maneira estratégica, a fim de resultarem em

ações eficientes. A adoção do BIM como uma proposta de metodologia para elevar a segurança aeroportuária é fundamental, tanto na fase de construção quanto na fase de operação do empreendimento.

Este artigo visa contribuir com a proposta de uma estrutura inicial de metodologia de segurança, baseada em BIM, para aplicação em aeroportos brasileiros nas fases de construção e de operação. São apresentadas soluções em BIM, compreendendo o uso de ferramentas tecnológicas e seus processos, aplicáveis em empreendimentos de edificações e de infraestrutura. Também são demonstradas, por meio de estudo de caso, as soluções escolhidas utilizando-se dos projetos de Engenharia adotados para a construção do Aeroporto de Vitória, Espírito Santo. Assim, visa-se demonstrar a aplicabilidade da metodologia para elevar a eficiência da segurança dos empreendimentos aeroportuários nas fases de construção e operação.

O restante do artigo foi estruturado da seguinte forma: na seção 2 são expostos os benefícios da utilização do BIM em aeroportos com ênfase na segurança; na seção 3 são descritos os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, as dificuldades encontradas nas fases de construção e de operação do aeroporto com ênfase na segurança e a apresentação da proposta de Metodologia objeto desta pesquisa; na seção 4 é demonstrada a aplicação de alguns itens da metodologia na prática, utilizando-se os projetos de engenharia adotados para a construção do Complexo Aeroportuário de Vitória, Espírito Santo; por último, na seção 5, são apresentadas as considerações finais da pesquisa.

2 Benefícios da utilização do BIM em aeroportos com ênfase na segurança

O uso da Metodologia BIM pode se configurar como uma ferramenta para visualização acessível e compreensível do progresso da construção e de suas medidas de segurança ao longo do tempo e, também, para detectar locais perigosos. A indicação dessas medidas ajudará os gerentes de segurança a conceber, de forma antecipada, a segurança durante o planejamento da construção, bem como durante a construção.

Nos últimos anos, atingiu-se uma rápida elevação na adoção da metodologia BIM no âmbito da indústria da construção, oferecendo potencial de aprimorar a colaboração e a comunicação, aumentar a produtividade e a qualidade e reduzir o custo do projeto e o tempo de entrega (AZHAR, 2011). Visando superar os obstáculos existentes no método tradicional de gerenciamento de riscos, inúmeras tentativas de uso do BIM para esse gerenciamento foram conduzidas globalmente.

Melzner *et al.* (2013) implementaram um sistema de verificação de regras de segurança baseado em BIM em um projeto de arranha-céu. Os regulamentos de proteção contra quedas em alturas dos EUA e da Alemanha foram aplicados, detectando riscos potenciais de acontecimento do evento. Zhang *et al.* (2015) aplicaram a verificação de regras automatizadas de segurança, baseadas em BIM, adotando algoritmos que analisam automaticamente, no modelo, os riscos à segurança e sugerindo algumas medidas preventivas para diferentes casos envolvendo riscos relacionados a quedas em alturas. Zou, Kiviniemi e Jones (2016) propuseram um modelo de gerenciamento de riscos em projetos de pontes, desenvolvendo uma estrutura de divisão de risco personalizada e formalizando um vínculo entre essa e o BIM. Os resultados sugeriram que o método tradicional e o BIM poderiam ser mesclados como solução para gerenciamento de riscos. Marzouk e Daour (2018) propuseram uma estrutura que auxilia os empreiteiros e gerentes de segurança no planejamento da evacuação de mão de obra para canteiros

de obras usando BIM e simulações computacionais, contemplando alternativas de métodos de construção. A estrutura proposta estima o tempo de execução, o custo total e o tempo de evacuação para os projetos de construção, levando em consideração a segurança. Nota-se que há pesquisas que contemplam soluções em BIM para a elevação da segurança em empreendimentos, entretanto, estas apresentam soluções específicas, e não um conjunto de soluções estrategicamente concebidas para determinada tipologia de empreendimento, como objetivou a presente pesquisa.

3 Metodologia

A metodologia proposta neste trabalho baseia-se na resolução de algumas dificuldades, relacionadas aos aspectos de segurança, encontradas durante o processo de projeto e construção (ampliação e modernização) e durante a operação do Aeroporto Internacional de Vitória – Aeroporto Eurico de Aguiar Salles, no estado do Espírito Santo, Brasil, no período compreendido entre 2012 e 2020. A metodologia foi desenvolvida a partir da modelagem BIM de todo o aeroporto, entretanto não foi testada. Esse aeroporto foi ampliado e modernizado contemplando um novo sistema de pistas e pátios e novas edificações (terminal de passageiros, torre de controle, edifício do corpo de bombeiros, subestações, guaritas, edificações de apoio, entre outras).

Com relação aos procedimentos metodológicos: a) adotou-se um extenso levantamento bibliográfico a fim de identificar estudos envolvendo o uso do BIM em aeroportos com ênfase na segurança; b) baseando-se na experiência de construção e operação do empreendimento, do qual um dos autores foi o fiscal técnico e executor de projetos, identificaram-se as dificuldades encontradas nas fases de construção e de operação; c) baseando-se em referências bibliográficas e experiência prática, estruturou-se uma metodologia, baseada em BIM, para elevação da segurança aeroportuária, que contempla, entre outros, os benefícios, desafios e requisitos de segurança a serem adotados; d) algumas soluções BIM propostas na metodologia foram testadas utilizando os projetos de engenharia empregados para a construção do aeroporto.

As dificuldades encontradas nas fases de construção e de operação podem ser classificadas em componentes do complexo aeroportuário, como o aeródromo e as edificações aeroportuárias. No que se refere à etapa de construção, pode-se elencar, principalmente, as seguintes demandas de resolução no aeródromo:

- a) melhoria na comunicação entre o corpo técnico e a fiscalização da obra;
- b) melhoria do processo de gestão da comunicação entre a fiscalização da obra, a manutenção, a operação e a segurança do terminal de passageiros existente;
- c) atualização dos projetos de áreas de segurança (delimitação de área patrimonial e controlada);
- d) melhoria na confiabilidade dos projetos “*as built*” de infraestrutura – identificação de tubulações enterradas e caixas de passagens, visando não impactar a operação e a segurança do aeroporto;
- e) conhecimento em relação às superfícies livres de obstáculos do aeródromo.

Quanto às edificações, na etapa de construção, as demandas são as seguintes:

- a) melhoria na gestão da informação em relação aos apontamentos realizados pelos engenheiros de segurança da obra, referentes às Normas Regulamentadoras

Figura 1 ▼

a) Uso de proteção contra quedas durante a construção de pavimento ático do Terminal de Passageiros do Aeroporto de Vitória-ES.

b) Instalação de tubulações enterradas.

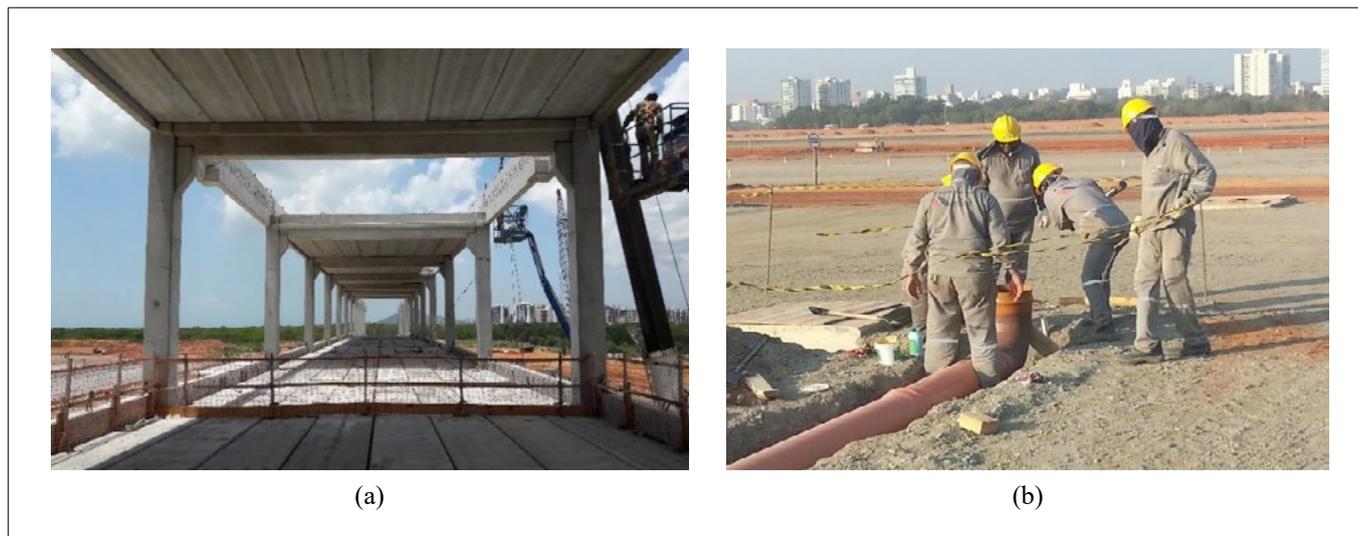
Fonte: arquivo dos autores

de Segurança do Trabalho, e conhecimento desses regulamentos pelo corpo técnico – por exemplo, do regulamento da execução de proteção contra quedas em determinadas alturas de construção;

b) identificação de locais com potenciais riscos e conhecimento desses locais por parte da equipe de execução e de fiscalização da obra;

c) conhecimento do mapa de risco por todos da obra;

d) conhecimento por todos do avanço físico da obra e das diretrizes de segurança para as dinâmicas fases da obra.



Com relação à etapa de operação, podem ser elencadas as seguintes demandas de resolução no aeródromo:

a) melhoria na visualização do ativo digital, adotando-se modelos tridimensionais, do tráfego de aeronaves e veículos no solo e de áreas de segurança próximas às pontes de embarque;

b) melhoria no acesso à informação em relação à localização e identificação de instalações enterradas no sítio, proporcionando facilitar a manutenção destas, visando à prevenção de incidentes e da interrupção dos serviços;

c) identificação no modelo BIM de zonas livres de obstáculos;

d) identificação de zona de ruído, possibilitando avaliar os potencialmente nocivos no entorno do aeródromo;

e) identificação no modelo BIM de informações sobre as manutenções agendadas para as instalações e procedimentos de segurança determinados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC);

f) inclusão no modelo BIM do plano básico de zona de proteção do aeródromo e do plano de zona de proteção de auxílios à navegação aérea. Com o modelo BIM do aeródromo, somado aos benefícios inerentes aos softwares para simulação de veículos e aeronaves, é possível prever estratégias de atuação relacionadas a procedimentos de segurança e treinamentos.

Na etapa de operação, as seguintes demandas de resolução foram identificadas para as edificações:

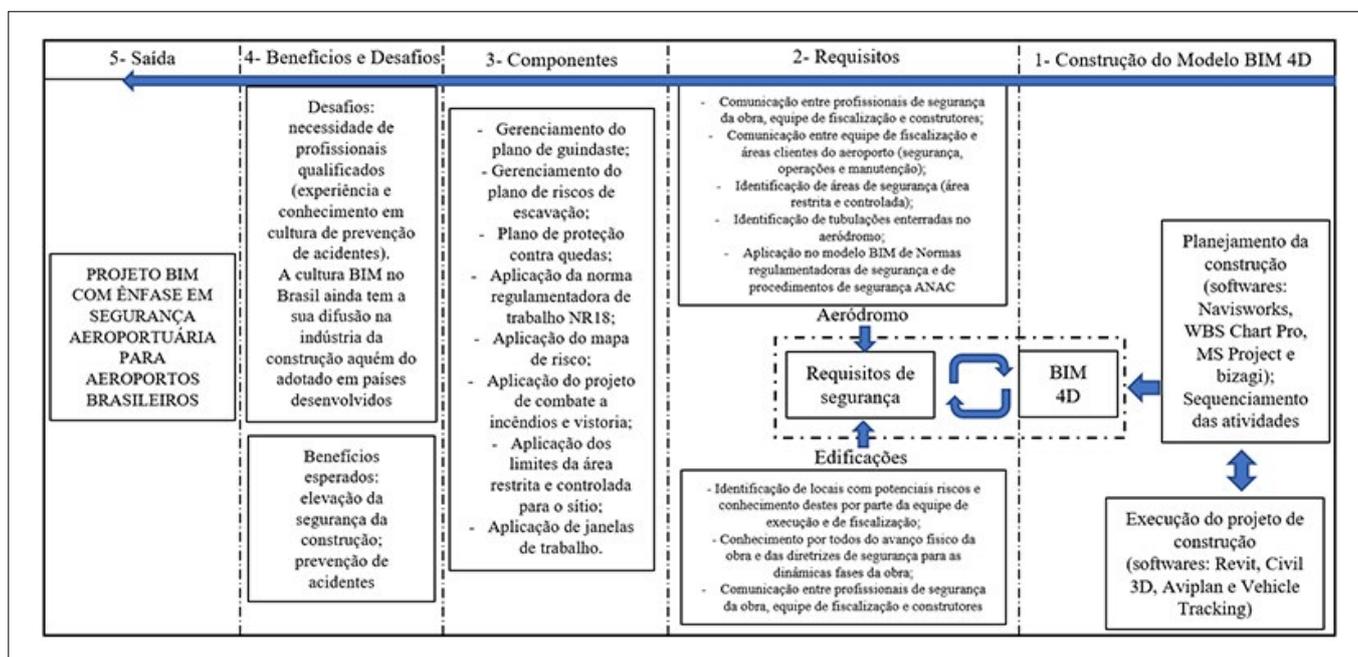
- a) identificação no modelo BIM de locais que possam representar riscos no interior das edificações, assim como descrição do procedimento para sanar os riscos e o tempo em aberto para correção;
- b) inclusão no modelo BIM de especificações técnicas e de dados de fabricantes relacionados a cada componente (arquitetônico, estrutural, instalações complementares), de modo a prevenir falhas que possam causar riscos às pessoas;
- c) inclusão no modelo de datas de vistorias do Corpo de Bombeiros e de procedimentos de segurança conforme a ANAC;
- d) identificação de todas as instalações no modelo, a fim de que as manutenções e reparos nos sistemas ocorram de forma rápida e eficiente;
- e) identificação no modelo BIM das manutenções preventivas e preditivas nas instalações;
- f) inclusão no modelo BIM da direção de rotas de fuga e percursos máximos a percorrer, de forma automática;
- g) inclusão no modelo BIM dos sistemas eletrônicos de detecção de incêndio, de controle de acesso e de monitoramento eletrônico, para melhor configuração estratégica;
- h) possibilidade de otimização das operações de emergência dentro do terminal;
- i) estudo e monitoramento das operações de emergência.

Figura 2 ▼

Aplicação da metodologia proposta para a fase de construção.

Fonte: elaborada pelos autores

Sendo assim, tem-se vantagens com a metodologia proposta para os aeroportos em fase de construção e de operação. Esses benefícios podem ser adotados para o aeroporto em sua totalidade, tanto para o aeródromo quanto para as edificações aeroportuárias, propiciando ganhos diretos, relacionados à segurança do aeroporto, para a população operária, para os passageiros e para o seu entorno. A Figura 2 ilustra as etapas de aplicação da metodologia na fase de construção do empreendimento.

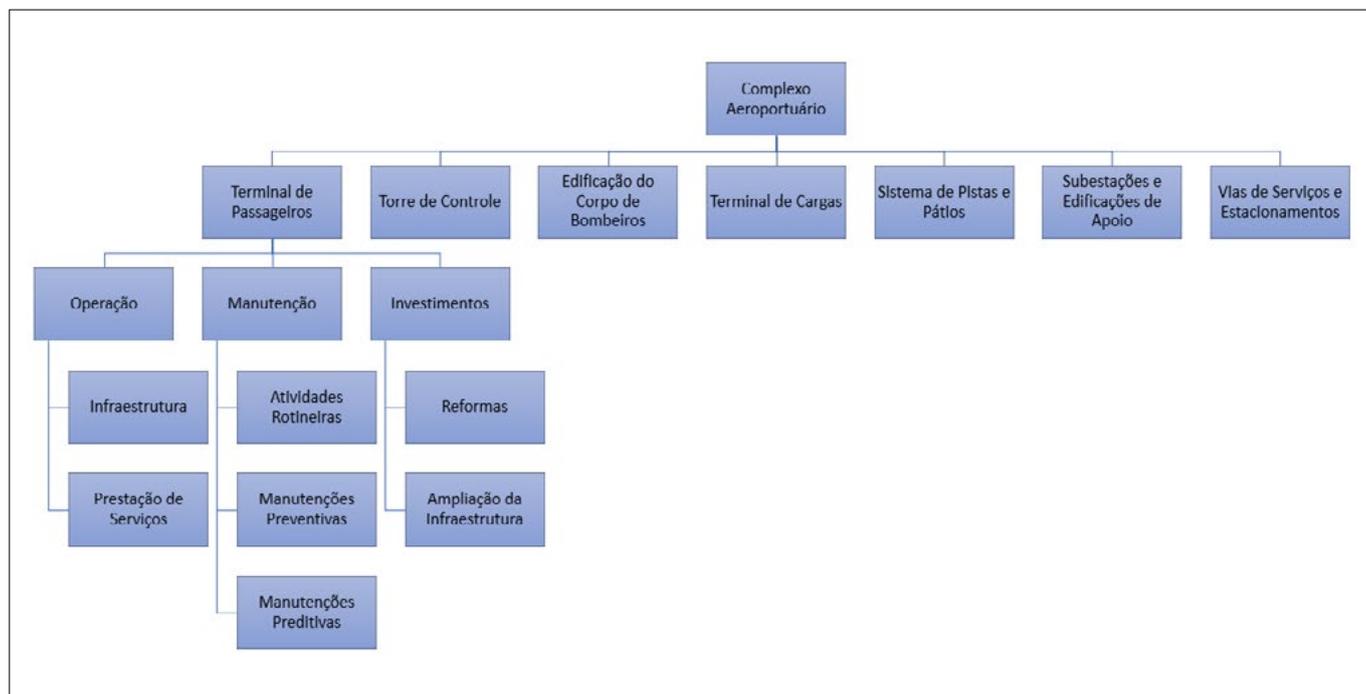


De acordo com a Figura 2, tem-se, primeiramente, a construção do modelo BIM de forma integrada com os dados de planejamento da construção, o cronograma físico da obra e o sequenciamento das atividades. Nesse momento, são aplicados para a modelagem BIM os softwares: Revit, da Autodesk, para a modelagem das edificações e de parte do sítio aeroportuário; Aviplan, da Transoft Solutions, e Vehicle Tracking, da Autodesk, para a visualização tridimensional da dinâmica de veículos e aeronaves no sítio; Civil 3D, da Autodesk, para a modelagem de modelos de infraestrutura. Com relação ao planejamento da construção, adotou-se, primeiramente, o WBS Short Pro para a elaboração da Estrutura Analítica do Projeto (EAP), a fim de definir o escopo do projeto. Após isso, o sequenciamento das etapas da construção foi realizado, adotando-se a execução de um mapa de fluxos dos processos (software Bizagi) e um Gráfico de Gantt (MS Project). Em seguida, os dados do Gráfico de Gantt foram importados no Navisworks (Autodesk), no qual é possível executar o BIM 4D.

Na fase seguinte, que envolve os aspectos de segurança, é realizada a fusão dos aspectos de planejamento da execução da obra com o planejamento da segurança, contemplando: procedimentos de identificação de riscos; gestão da comunicação da segurança; identificação das áreas de segurança e operacionais; cuidados em relação à preservação da infraestrutura existente; e aplicação das normas regulamentadoras de segurança do trabalho e de normas de segurança da ANAC. Destacam-se também os componentes de segurança necessários a serem considerados no modelo, tais como o gerenciamento: do plano de guindaste; de riscos de escavação; de proteção contra quedas; da aplicação da norma regulamentadora NR 18, entre outros.

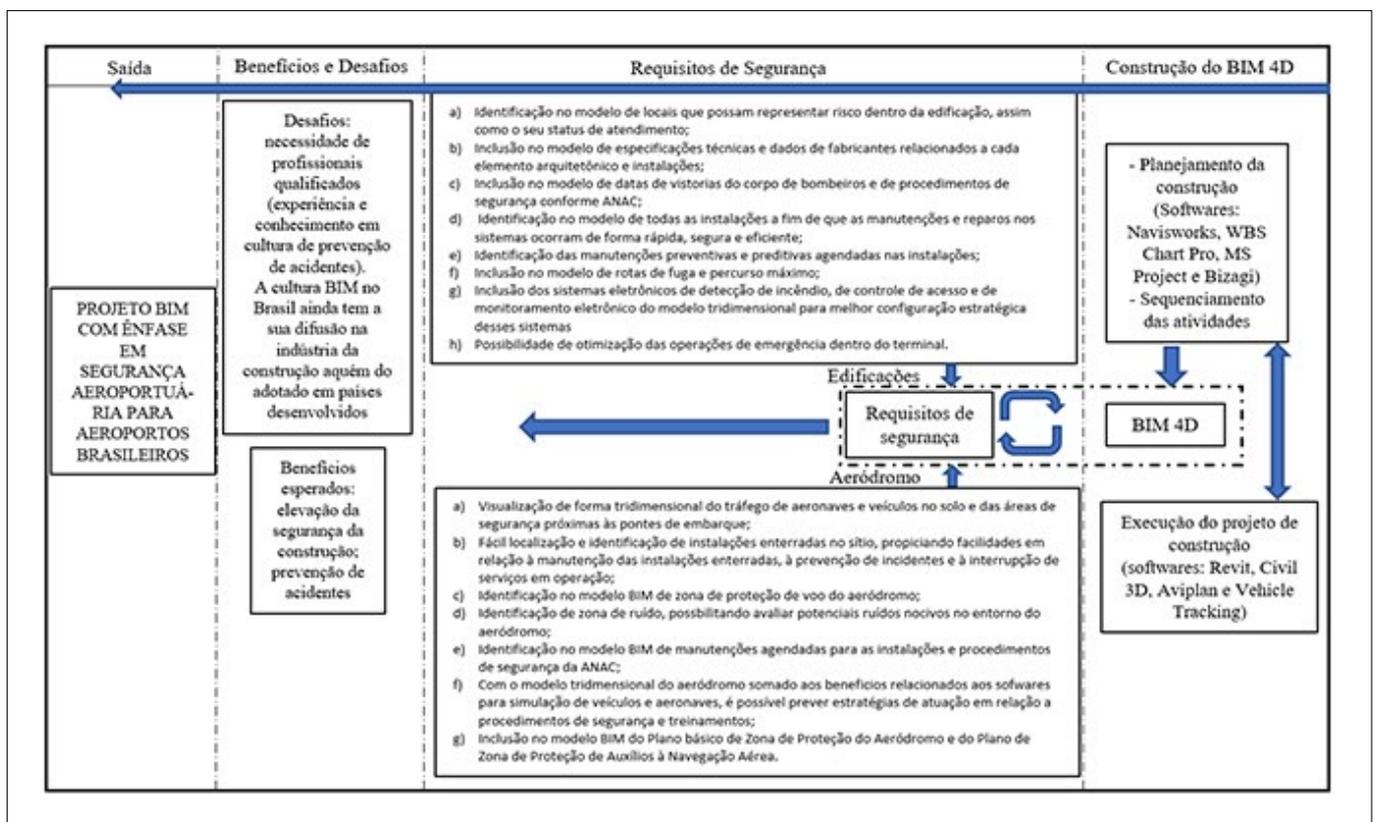
No que se refere à etapa de operação, a metodologia propõe um sistema baseado na modelagem BIM da infraestrutura instalada, para facilitar procedimentos de operação da edificação, gestão da manutenção e gestão da segurança. Inicialmente, é realizada a EAP (ilustrada na Figura 3) da operação do aeroporto, compreendendo as edificações e o sistema de pistas e pátios.

Figura 3 ▼
Estrutura Analítica do Projeto (EAP) compreendendo todos os componentes aeroportuários presentes no estudo de caso do Aeroporto de Vitória, Espírito Santo.
Fonte: elaborada pelos autores



Definida a EAP, é realizada a modelagem BIM da infraestrutura instalada. São identificados também os veículos e as aeronaves a transitar pelo sítio aeroportuário, por meio dos softwares Aviplan e Vehicle Tracking. O uso dos modelos tridimensionais de veículos e aeronaves é fundamental para uma melhor decisão com relação às atividades de emergência, à eficiência da operação e a propostas de ampliação e de modernização da infraestrutura instalada. Desperta também como elemento importante para a realização de treinamentos. As atividades relacionadas à operação, à manutenção e aos investimentos programados executadas no software MS Project, em um modelo de Gráfico de Gantt, são agrupadas ao modelo BIM por meio da integração dos softwares Revit, Navisworks e MS Project, conforme a Figura 4. Ainda de acordo com a Figura 4, esses elementos compreendem a fase de construção do modelo BIM 4D, sendo realizada a fusão desses dados com o planejamento de segurança, compreendendo as atividades detalhadas anteriormente.

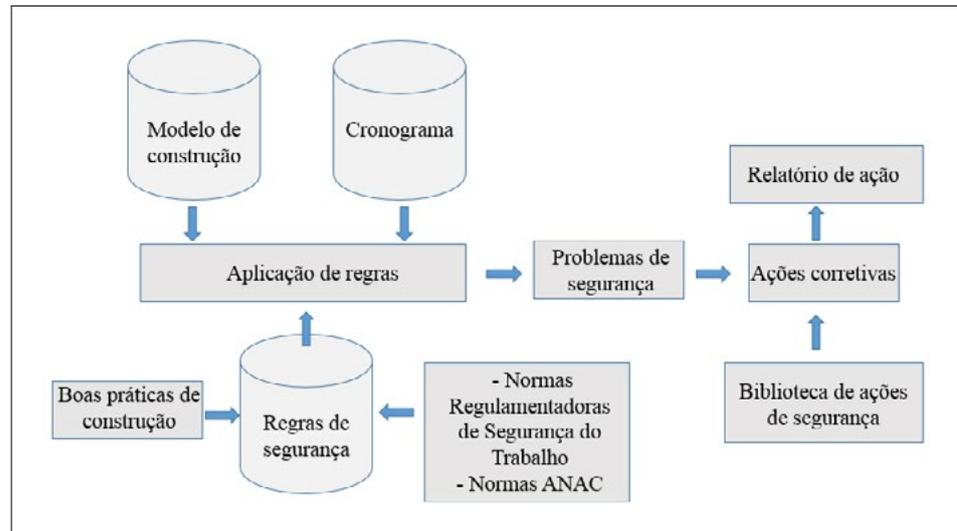
Figura 4 ▼
Aplicação da metodologia proposta para a fase de operação.
Fonte: elaborada pelos autores



Basicamente, o processo resume-se à construção dos modelos e do cronograma, que são somados às normas e regulamentos nacionais e internacionais de segurança e às boas práticas de construção, gestão e operação de aeroportos. As falhas no sistema deverão motivar ações corretivas e a construção de relatórios com lições aprendidas, conforme Figura 5 (próxima página).

Figura 5 ▶

Fluxograma da concepção da metodologia proposta para a fase de operação.
 Fonte: elaborada pelos autores



Quadro 1 ▼

Soluções de usos BIM e os benefícios ao planejamento de segurança aeroportuário com a metodologia proposta.
 Fonte: elaborado pelos autores

No Quadro 1 são apresentadas as atividades que necessitam de elevação de desempenho, no que tange à segurança, e as soluções BIM a serem adotadas.

Ação	Soluções de usos do BIM	Benefícios ao planejamento de segurança aeroportuária
1	Etapa de construção do projeto aeroportuário	
1.1	Aeródromo	
1.1.1	- Adoção de dispositivos móveis contendo o modelo BIM 4D, associando-se o planejamento de segurança com o cronograma da obra e com medidas preventivas de riscos; - Opção de inserção de tags adotando-se ferramentas tecnológicas de checagem (Navisworks) nos componentes do modelo, para que, de forma atualizada, dinâmica e em tempo real, seja possível o envio e recebimento de notificações para a equipe técnica de fiscalização e de construção; - Adoção de ambiente comum de dados (CDE) para compartilhamento de informações, de acordo com os processos estabelecidos na ISO 19650/2018.	Velocidade e confiabilidade na distribuição da informação entre profissionais de segurança da obra, equipe de fiscalização e construtores. Assim, tem-se maior desempenho na entrega do empreendimento em menor prazo, favorecendo a redução de custos nos processos. Soma-se ainda que as atualizações no planejamento são realizadas com menores prejuízos, em virtude da distribuição uniforme da informação.
1.1.2	Disponibilização do modelo BIM ao efetivo do aeroporto para conhecimento das ações e possibilidade de inserção de tags relacionadas a situações operacionais e de emergência.	A melhoria da comunicação entre a equipe de fiscalização e áreas clientes do aeroporto (segurança, operações e manutenção) é fundamental para se garantir o bom andamento da obra sem prejuízos na operação do aeroporto. Sua falta poderia resultar em parada das operações, ocasionando prejuízos econômicos e interrupção dos sistemas de segurança relacionados à aeronavegação, o que poderia acarretar acidentes fatais.

continua

1.1.3	Identificação de áreas de segurança (área restrita e controlada)	Inclusão no modelo BIM do projeto atualizado de áreas de segurança. Caso haja necessidade de alteração, o projeto é atualizado em tempo real, ficando as informações acessíveis ao corpo técnico construtor e fiscalizador.	A identificação clara e por todos os profissionais da obra e da operação do aeroporto de áreas de segurança (área restrita e controlada) é fundamental. Muitas vezes, com o avanço da obra, tornam-se necessárias atualizações nessas áreas. A proposta baseia-se em que, quando essas áreas forem atualizadas, todos tenham conhecimento do mesmo documento, minimizando margem para equívocos.
1.1.4	Identificação de tubulações enterradas no aeródromo	Inclusão de todo o mapeamento das tubulações enterradas no aeroporto no modelo BIM. Além de sua localização, são adicionadas informações como especificações técnicas, contatos de fabricantes e datas programadas de manutenções.	A identificação de tubulações enterradas no aeródromo decorre do projeto atualizado as built e do mapeamento de todas as instalações do sítio, além de sua visualização facilitada no modelo tridimensional. Assim, reduzem-se acidentes e a interrupção da operação.
1.1.5	Aplicação no modelo BIM de normas regulamentadoras de segurança e de procedimentos de segurança estabelecidos pela ANAC	Inclusão de normas em forma de relatórios no Navisworks, assim como inclusão de tags com as inconformidades e seus status de atendimento. É ainda previsto o uso do Solibri Office para verificação de regras de segurança – por exemplo, relacionando o número de trabalhadores e as exigências que impactam as construções já concluídas, em conformidade com a NR 18 (BRASIL, 2020b).	Aperfeiçoamento no atendimento às normas nacionais e internacionais de segurança para obras de engenharia e aviação civil, conforme Normas Regulamentadoras de Segurança no Trabalho e normativos da ANAC.
1.2	Edificações		
1.2.1	Identificação de locais com potenciais riscos e conhecimento desses locais por parte da equipe de execução e de fiscalização da construção; conhecimento por todos do avanço físico da obra e das diretrizes de segurança para as dinâmicas fases da obra	Modelo BIM 4D no Navisworks, integrado com o MS Project, e identificação de riscos por meio de tags no Navisworks.	Redução de riscos, promovendo o conhecimento de situações que possam comprometer a segurança e a verificação do status de atendimento.
1.2.2	Gerenciamento da comunicação assim como exposto para o aeródromo	Conforme relatado anteriormente.	Conforme relatado anteriormente.
1.2.3	Inserção e integração dos relatórios de não conformidade na obra	Inserção de relatórios no modelo BIM 4D.	Melhora na eficiência dos processos, resultando em elevação do desempenho da segurança.
1.2.4	Check-list de atendimento aos critérios da NR 18	Inclusão de itens para cumprimento da norma em aspecto de formulário no Navisworks. Inclusão de tags para acompanhamento.	Busca pelo atendimento da NR 18 em todos os seus aspectos. Muitas vezes, em função da extensão do texto da norma, não é possível, sem ferramentas tecnológicas adicionais, atender todos os itens da norma. Com a utilização da metodologia, propõe-se a facilitação no reconhecimento de suas exigências e eficiência no atendimento.

2	Etapa de operação do empreendimento aeroportuário		
2.1	Aeródromo		
2.1.1	Visualização de forma tridimensional do tráfego de aeronaves e de veículos no solo e das áreas de segurança próximas às pontes de embarque	Modelagem por meio do Revit e do Civil 3D e inclusão de aeronaves e veículos por meio dos softwares Aviplan e Vehicle Tracking.	Melhoria no acompanhamento da segurança e de procedimentos operacionais no que tange ao trânsito de veículos e aeronaves, no momento da operação do aeroporto e da construção de empreendimentos no sítio aeroportuário.
2.1.2	Fácil localização e identificação de instalações enterradas no sítio	Modelagem das instalações nos softwares Revit e ReCap, associando, além de localização, sua especificação técnica, dados de fabricantes e manutenções programadas. Serão incluídas as programações de manutenção no MS Project. As programações serão importadas no Navisworks para acompanhamento.	A fácil localização e identificação de instalações enterradas no sítio propiciam facilidade em relação à manutenção destas, à prevenção de incidentes e à prevenção da interrupção dos serviços.
2.1.3	Identificação no modelo BIM de zona de proteção de voo do aeródromo	Inclusão da zona de proteção de voo no modelo do Revit e integração com os ambientes GIZ e BIM do Infracore.	Melhoria no reconhecimento, por todos os agentes aeroportuários (equipes de operação, de segurança e de obra), de zona de proteção de voo do aeródromo, potencializando a política de prevenção de acidentes no complexo aeroportuário.
2.1.4	Identificação de zona de ruído, possibilitando avaliar potenciais ruídos nocivos no entorno do aeródromo	Inclusão da zona de ruído no modelo do Revit e integração com os ambientes GIZ e BIM do Infracore.	Melhoria no reconhecimento, por todos os agentes aeroportuários (equipes de operação, de segurança e de obra), de zona de ruído. Redução do ruído para aqueles que trabalham no aeroporto, que contribui para preservar suas capacidades produtivas, principalmente para as equipes de operações e de segurança, além de evitar prejuízos físicos às pessoas ocasionados pelo ruído.
2.1.5	Identificação no modelo BIM de manutenções agendadas para as instalações e de procedimentos de segurança da ANAC	Inclusão de informações no modelo BIM executado no Revit	Elevação do desempenho do processo de gestão da manutenção, minimizando prejuízos às pessoas e ao patrimônio.
2.1.6	Adoção de modelo tridimensional para simulação de veículos e aeronaves	Modelo do Revit e softwares Aviplan e Vehicle Tracking.	Com o modelo tridimensional do aeródromo somado aos benefícios relacionados aos softwares para simulação de veículos e aeronaves, é possível prever estratégias de atuação relacionadas a procedimentos de segurança e treinamentos.
2.1.7	Inclusão no modelo tridimensional do plano básico de zona de proteção do aeródromo e do plano de zona de proteção de auxílios à navegação aérea	Inclusão de informações no modelo BIM executado no Revit.	Melhoria na segurança aeroportuária com o reconhecimento do projeto atualizado, facilitando os processos relacionados à aeronavegação e à mitigação da concepção e da construção de edificações e equipamentos que desrespeitem a Zona de Proteção do Aeródromo.

2.2	Edificações		
2.2.1	Identificação no modelo de locais que possam representar risco dentro da edificação, assim como do seu status de atendimento	Navisworks: identificação por tags dos locais e de informações relacionadas.	Reconhecimento prévio das ações que podem apresentar riscos, promovendo estratégias preventivas em detrimento das corretivas.
2.2.2	Inclusão no modelo de especificações técnicas e dados de fabricantes relacionados a cada elemento arquitetônico e às instalações	Modelagem no Revit e inclusão de informações de forma associada aos componentes tridimensionais.	Melhores condições para substituições e manutenções nos componentes, promovendo celeridade nos processos e confiabilidade, resultando em eficiência no gerenciamento da segurança.
2.2.3	Inclusão no modelo de datas de vistorias do corpo de bombeiros e de procedimentos de segurança, conforme procedimentos de segurança da ANAC	Inclusão no Navisworks de programação, associada aos elementos que receberão vistoria. Integração MS Project e Navisworks.	Eficiência com relação às agendas de vistorias de segurança e à execução de procedimentos necessários à realização destas e ao cumprimento de suas diretrizes.
2.2.4	Identificação no modelo de todas as instalações presentes nas edificações aeroportuárias	Modelo executado no Revit (estrutural, elétrico, hidráulico, ventilação). Identificação de interferências (geração de relatório) no Navisworks.	Facilitação para que as manutenções e reparos nos sistemas ocorram de forma mais rápida, segura e eficiente, potencializando o gerenciamento da segurança aeroportuária.
2.2.5	Identificação das manutenções preventivas e preditivas agendadas para as instalações	Integração entre Revit, Navisworks e MS Project.	Melhoria na eficiência da gestão da manutenção das edificações, reduzindo riscos à segurança dos usuários das edificações de maneira preventiva.
2.2.6	Inclusão no modelo de rotas de fuga e percurso máximo	Inclusão no modelo no Revit e uso de regras de verificação adotando-se o Solibri Office.	Atendimento às normas de prevenção de riscos à segurança contra incêndio, buscando o atendimento à legislação do corpo de bombeiros e o conhecimento das melhores estratégias de escape, podendo, inclusive, ser discutidas maneiras de aprimoramento utilizando equipes multidisciplinares.
2.2.7	Inclusão no modelo BIM dos sistemas eletrônicos de detecção de incêndio, de controle de acesso e de monitoramento eletrônico, para melhor configuração estratégica desses sistemas	Inclusão de informações no modelo BIM executado no Revit.	Melhoria nos sistemas eletrônicos relacionados à segurança aeroportuária com enfoque no edificado, elevando a eficiência da política de prevenção de acidentes relacionados a riscos de incêndio.
2.2.8	Adoção de modelos tridimensionais de aeronaves e veículos posicionados no pátio de aeronaves junto às pontes de embarque	Revit, Aviplan e Vehicle Tracking.	Possibilidade de otimização das operações de emergência com as aeronaves posicionadas no pátio.
2.2.9	Estudo e monitoramento das operações de emergência	Modelo tridimensional Revit, Aviplan e Vehicle Tracking.	Avaliação adequada e incorporação de treinamento adotando-se os modelos tridimensionais de aeronaves e de veículos a serem incorporados na metodologia proposta.

4 Estudo de caso

Adotou-se como estudo de caso para implementação da metodologia os projetos de Engenharia do Aeroporto de Vitória, no estado do Espírito Santo. Entre os motivos para essa adoção, estão: a) participação de um dos autores deste trabalho nos projetos e na obra do referido aeroporto, desde o início, compondo a equipe de fiscalização da obra, e no início da operação do aeroporto; b) fato de esse aeroporto ter sido construído, em sua totalidade, recentemente (2012-2018); c) fato de nesse aeroporto terem sido construídos recentemente todos os sistemas fundamentais de uma estrutura aeroportuária, tais como sistema de pistas e pátios, torre de controle, edifício do corpo

de bombeiros, terminal de passageiros, pátios de aeronaves, táxis e vias de serviço, pista de pouso e decolagem, subestações, estacionamentos e outras edificações de apoio, compreendendo um total de área construída de 365.000 m².

Os projetos foram cedidos para esta pesquisa pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), empresa que fiscalizou a obra e operou o aeroporto de 2012 até 2020. Realizou-se a modelagem BIM total do aeroporto para aplicação da metodologia. A Figura 6a indica uma foto do antes e a Figura 6b, uma foto do depois da conclusão das obras de ampliação e modernização do Aeroporto de Vitória.

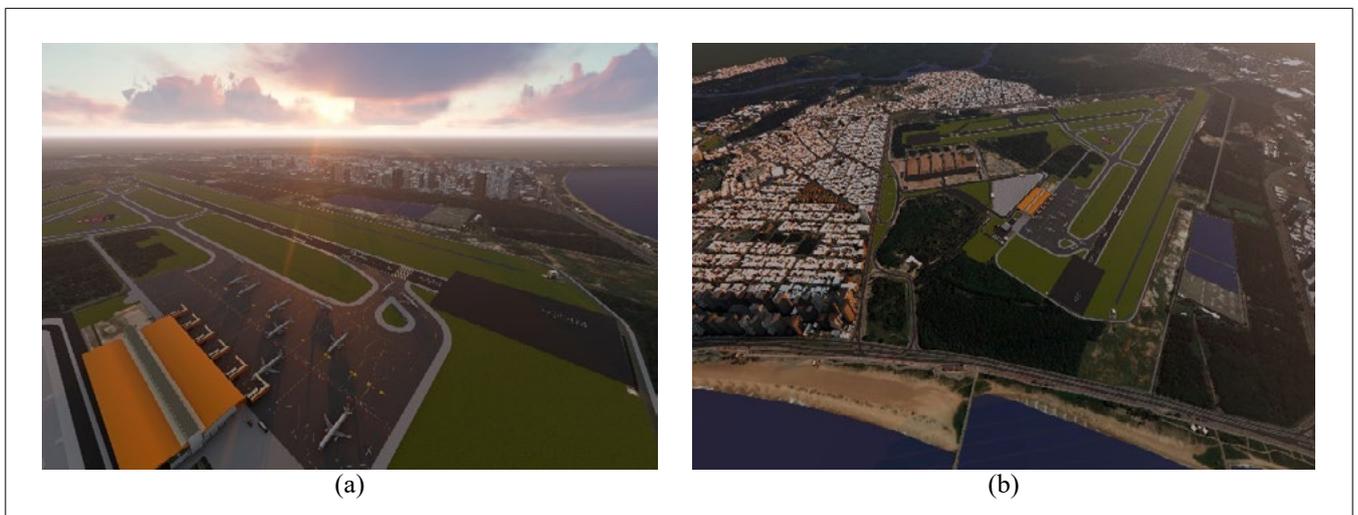
Figura 6 ▼
Aeroporto de Vitória, Espírito Santo, antes (a) e depois (b) da conclusão das obras.
Fonte: arquivo dos autores



Conforme mencionado no início da seção 3, foram identificadas algumas dificuldades relacionadas ao gerenciamento de prevenção de acidentes no decorrer da construção do Complexo Aeroportuário do Aeroporto de Vitória, bem como durante a operação. Foram também apresentadas soluções de usos BIM que poderiam potencializar as estratégias de elevação do desempenho do planejamento do gerenciamento de segurança. Com base nessas constatações, foi proposta a metodologia apresentada neste trabalho.

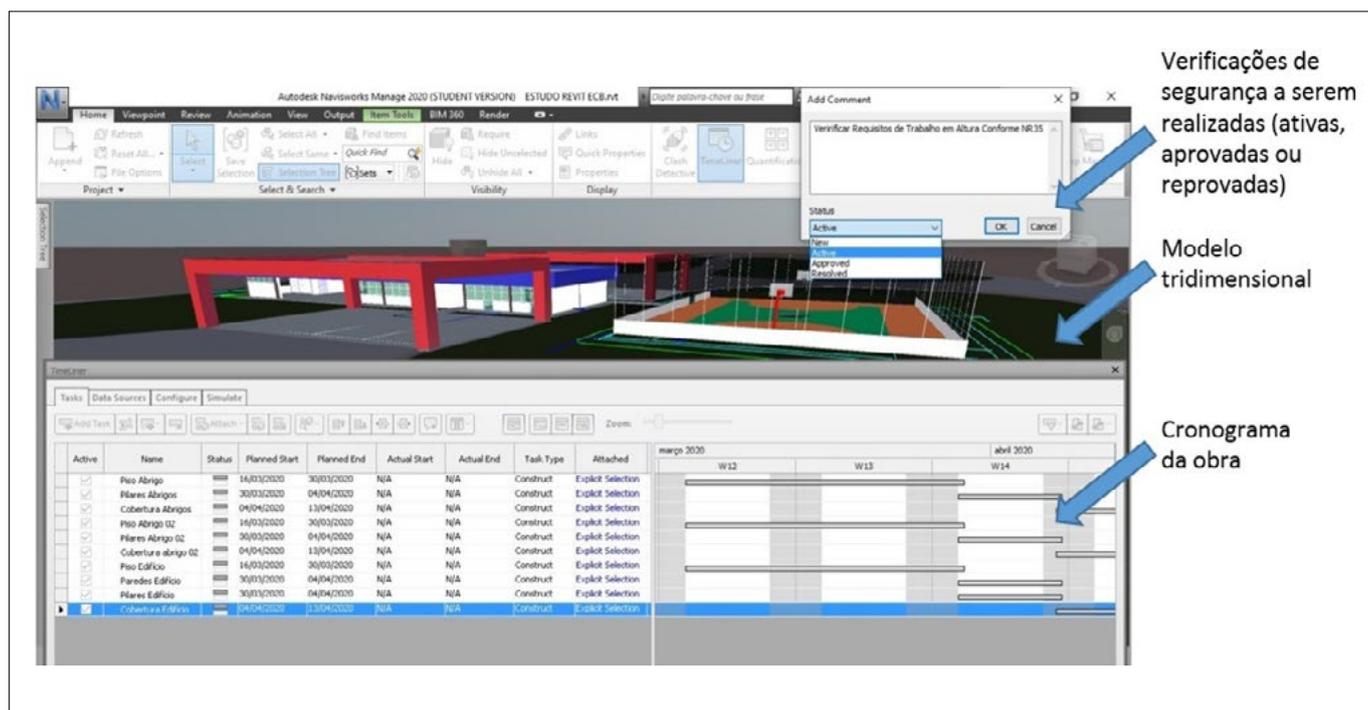
Figura 7 ▼
Modelo BIM do complexo aeroportuário.
Fonte: arquivo dos autores

A premissa fundamental para a construção da metodologia foi a simplificação dos processos, para facilitar a sua implementação em organizações com diferentes níveis de maturidade BIM. Inicialmente, foi realizada a modelagem BIM total do aeroporto, conforme indicado nas Figuras 7a e 7b.



Após a execução do modelo BIM, é proposta a sua integração com os documentos de segurança e de planejamento da obra. Como estudo de caso, foi possível incorporar ações de agrupamento de etapas de obras com as datas de realização de vistorias em relação aos procedimentos exigíveis de segurança da ANAC e de órgãos municipais e estaduais. Foi contemplada ainda, na metodologia, a execução de procedimentos de segurança atendendo alterações de *layout* de forma dinâmica da obra (por exemplo, a necessidade de inclusão de sistema de proteção contra quedas em etapas específicas da obra). Nesse contexto, por meio do software Navisworks, da Autodesk, foi possível associar essas informações de segurança ao cronograma da obra e ao modelo BIM, conforme indicado parcialmente na Figura 8.

Figura 8 ▼
Agrupamento de procedimentos de segurança ao modelo BIM e ao cronograma físico da obra.
Fonte: arquivo dos autores



Outra ferramenta proposta pela metodologia e empregada no estudo de caso foi a utilização de *tags* incorporadas no modelo BIM a fim de informar sobre as inconformidades referentes à prevenção de acidentes. Foram também contemplados *check-lists* para o atendimento às questões preconizadas na Norma Regulamentadora NR 18 (BRASIL, 2020b), sobre segurança e saúde no trabalho na indústria da construção. Por exemplo, é verificado o atendimento às questões de proteção contra incêndio, sinalização de segurança, equipamentos de proteção individual, movimento e transporte de materiais e pessoas, medidas de proteção contra quedas de alturas, andaimes e plataformas de trabalho, adequada estocagem e utilização de materiais, entre outras. Essas verificações são incluídas nos elementos BIM com relação ao atendimento ou não, incluindo a data de verificação da não conformidade com o seu tempo em aberto para atendimento. Também são incluídos os responsáveis pela ação. Os documentos podem ser incorporados a essas *tags* como documentos administrativos (relatórios de inspeção) e como documentos de apoio e normas regulamentadoras. Juntamente com as *tags* que contemplam procedimentos de segurança em acordo com as normas regulamentadoras brasileiras, são incorporadas ações de segurança necessárias para a operação do aeroporto, como o cumprimento da zona de segurança e a proteção do aeródromo, o controle da emissão de particulados, o

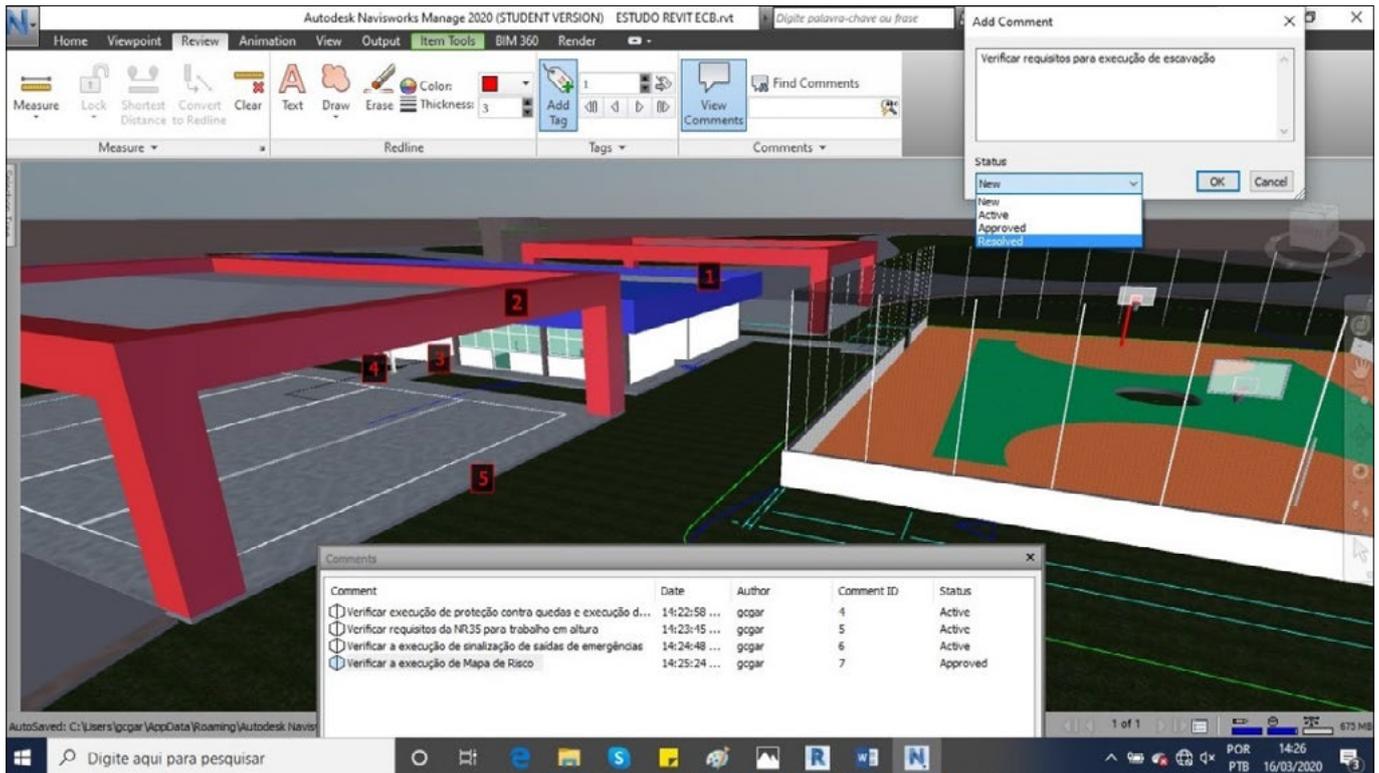
Figura 9 ▼

Utilização de *tags* para necessidade de incorporação de medida de proteção contra quedas, requisitos relacionados à norma NR 35, requisitos relacionados à sinalização para saídas de emergências, entre outros.

Fonte: arquivo dos autores

controle de materiais a fim de não se transformarem em FOD (*foreign object damage*) para as aeronaves, entre outras.

A Figura 9 ilustra um exemplo de aplicação da metodologia em que diversos requisitos de segurança são associados aos elementos da construção e às fases de obra no edifício do Corpo de Bombeiros do Aeroporto de Vitória, tais como: verificações com relação à proteção contra quedas; verificação de requisitos da NR 35 (BRASIL, 2019) para o trabalho em altura; execução de sinalização de saídas de emergência; e elaboração de mapa de risco.

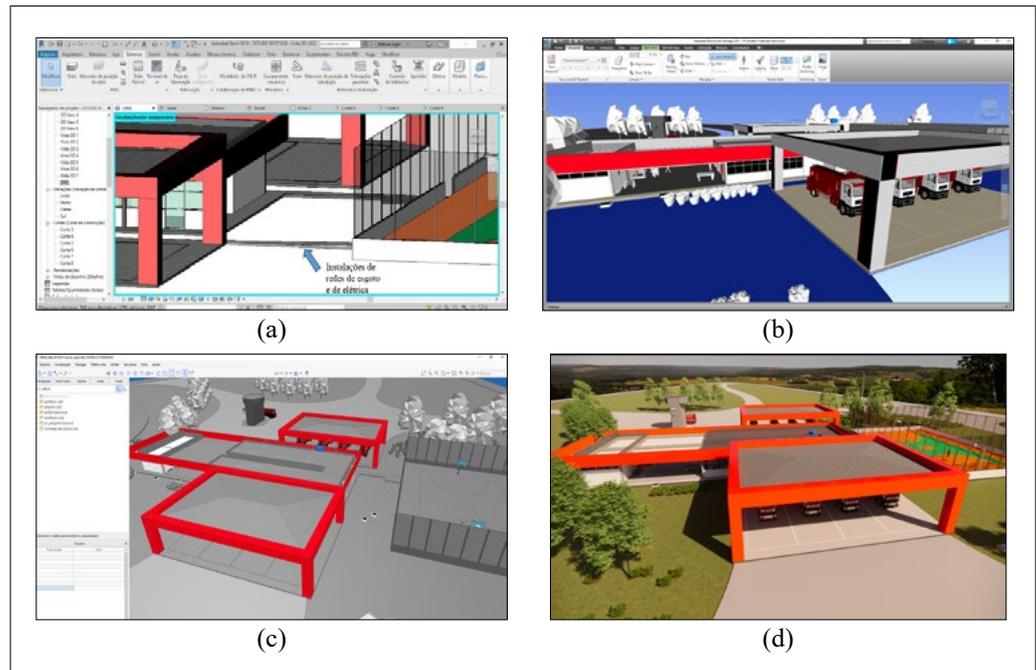


Um dos maiores problemas que afetam a segurança de aeroportos durante a execução de uma obra diz respeito à preservação de instalações, muitas vezes enterradas e de difícil identificação. Frequentemente, os projetos que indicam a presença dessas instalações não existem mais, ou encontram-se em difícil localização ou, ainda, as instalações não foram executadas conforme projetadas e não foi elaborado um projeto *as built* destas. Propõe-se, com esta metodologia, que toda instalação a ser executada e aquelas já executadas, principalmente aquelas enterradas, sejam incluídas no modelo BIM, juntamente com as datas de suas execuções, manuais de especificação e dados do fabricante, além de manutenções preventivas agendadas. De acordo com a Figura 10 (próxima página), propõe-se a identificação dessas instalações e que as adequações realizadas sejam atualizadas no modelo e transmitidas de forma confiável no ambiente comum de dados, visto que a possibilidade de danos nessas instalações pode comprometer a continuidade das operações do aeroporto e a segurança de todos os usuários.

Figura 10 ►

Identificação de instalações enterradas a) no software autoral; b) no Navisworks; c) no ambiente comum de dados; e d) em ambiente renderizado.

Fonte: arquivo dos autores

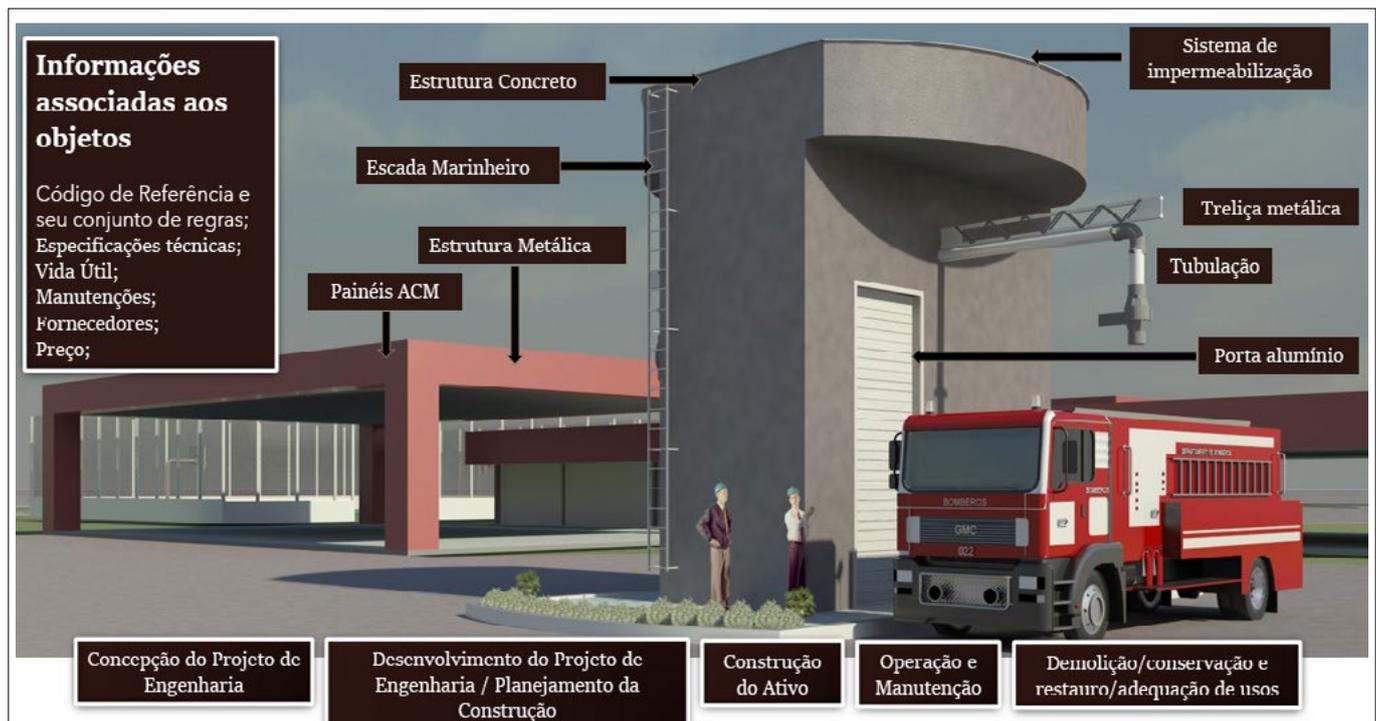


Executou-se também, além da concepção da arquitetura e da estrutura das edificações aeroportuárias, a inclusão dos sistemas complementares. Devido à complexidade de projetos aeroportuários, que contemplam várias disciplinas, somada à necessidade de atualização constante – em função das características de flexibilização dos espaços – e de modernização frequente da infraestrutura, é necessário um cadastro confiável do executado. O software Revit (Autodesk) contempla os módulos integrados de arquitetura, hidráulica, sistemas mecânicos e estruturais, sendo possível executar o modelo federado ainda no software autoral e incluir informações tais como especificações, manutenções agendadas, fornecedores e outras associadas aos componentes de projeto, indicadas como exemplo na Figura 11.

Figura 11 ▼

Edifício do Corpo de Bombeiros do Aeroporto de Vitória.

Fonte: arquivo dos autores



Outra aplicação da metodologia proposta consiste na otimização das operações de emergência no aeródromo e no estudo e monitoramento dessas operações adotando-se os softwares Aviplan e Vehicle Tracking. A inclusão das aeronaves e de veículos foi realizada em modelos tridimensionais, tornando possível avaliar trajetos, analisar e corrigir procedimentos operacionais e examinar as áreas de segurança junto ao pátio, possibilitando, inclusive, propor a otimização da sinalização horizontal executada ou que ainda será concebida.

Um aeródromo corresponde a uma estrutura complexa que compreende o fluxo operacional das aeronaves e veículos, procedimentos de manutenção e de segurança realizados pelos veículos, entre outras ações que precisam ser coordenadas e para as quais não há margens para imprevistos. Na Figura 12, nota-se a aplicação do software Vehicle Tracking em benefício da metodologia proposta. As simulações podem ser convertidas em projetos de sinalização, os quais recomenda-se que sejam desenvolvidos em BIM (Figura 13).

Figura 12 ▼

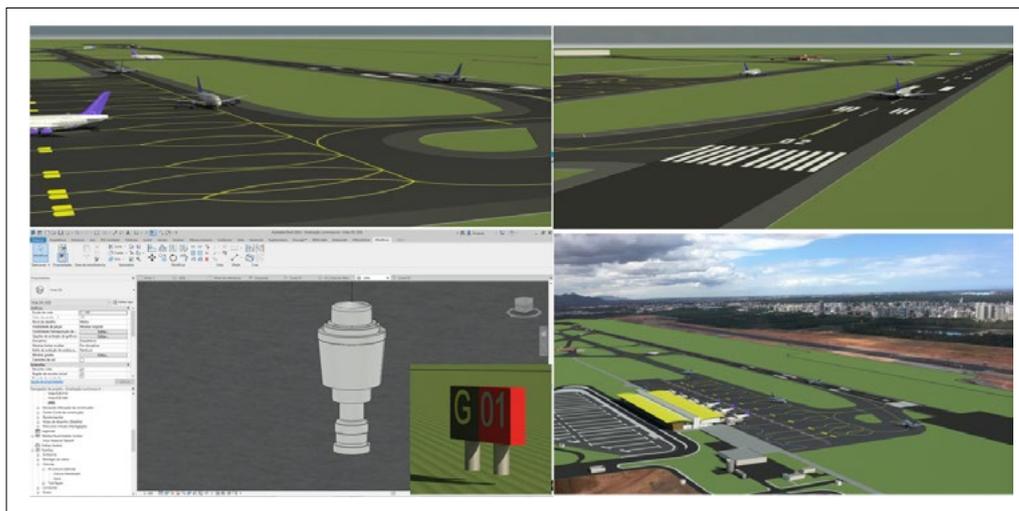
Vehicle Tracking em utilização para a metodologia proposta: a) simulação de trajetos de aeronaves em solo; b) visualização tridimensional de simulação de trajeto de aeronaves em solo.
Fonte: arquivo dos autores



Figura 13 ►

Desenvolvimento dos projetos de sinalização horizontal e vertical a partir da modelagem BIM.

Fonte: arquivo dos autores



É necessário contemplar também, em projetos de aeroportos, superfícies imaginárias e tridimensionais, denominadas superfícies livres de obstáculos. Estas apresentam dimensões, configurações e inclinações específicas, conforme a classificação do aeródromo. São conhecidas como faixas de pista, superfícies de transição, superfícies de aproximação e de decolagem, superfícies cônicas, entre outras denominações. Após a modelagem total do aeroporto, foi possível também modelar as superfícies livres de obstáculos adotando-se o software Revit (Autodesk). Após isso, o modelo foi importado para o software Infracad (Autodesk), ambiente integrador de sistemas de informações geográficas (SIG) e BIM, no qual é possível agregar uma precisão geográfica aos modelos, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 ►

Modelagem das superfícies livres de obstáculos no aeroporto.

Fonte: arquivo dos autores



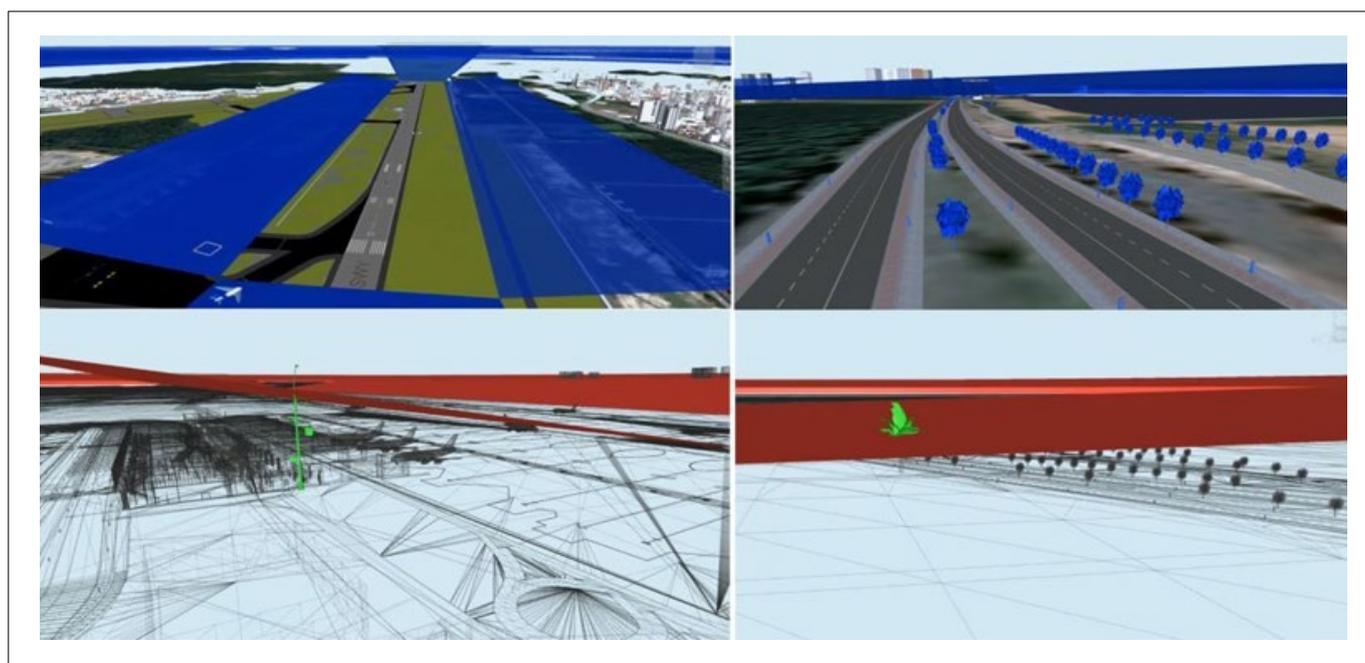
Assim, é possível avaliar, com precisão, se há elementos conflitantes com essas áreas de segurança. É possível também: a) atualizar as superfícies, facilmente, no caso de alterações na classificação do aeroporto ou de simulações de alternativas de mix de aeronaves; b) auxiliar no processo de concepção e projeto de edificações ou equipamentos no aeródromo; c) monitorar os trabalhos de ampliação da infraestrutura que possam vir a ocorrer no aeroporto; d) incorporar aos modelos as informações não gráficas, como: altura máxima e área de abrangência máxima de cada elemento; inclinações; código de referência do aeródromo; dados do processo de certificação do aeródromo; normas e legislações relacionadas; planos de emergência e manual de certificação do aeródromo; histórico de erros e violações; entre outras.

A fim de elevar a precisão em relação a elementos que possam promover conflitos com as superfícies livres de obstáculos, sugere-se a adoção também de procedimentos de detecção de conflitos, adotando-se o software de verificação Navisworks (Autodesk), com um exemplo do seu uso no estudo de caso indicado na Figura 15. O modelo BIM no software Infracworks foi exportado para o Navisworks (Autodesk), possibilitando avaliar, de forma automática, inconsistências e produzir relatórios.

Figura 15 ▼

Detecção de interferências nas superfícies livres de obstáculos.

Fonte: arquivo dos autores

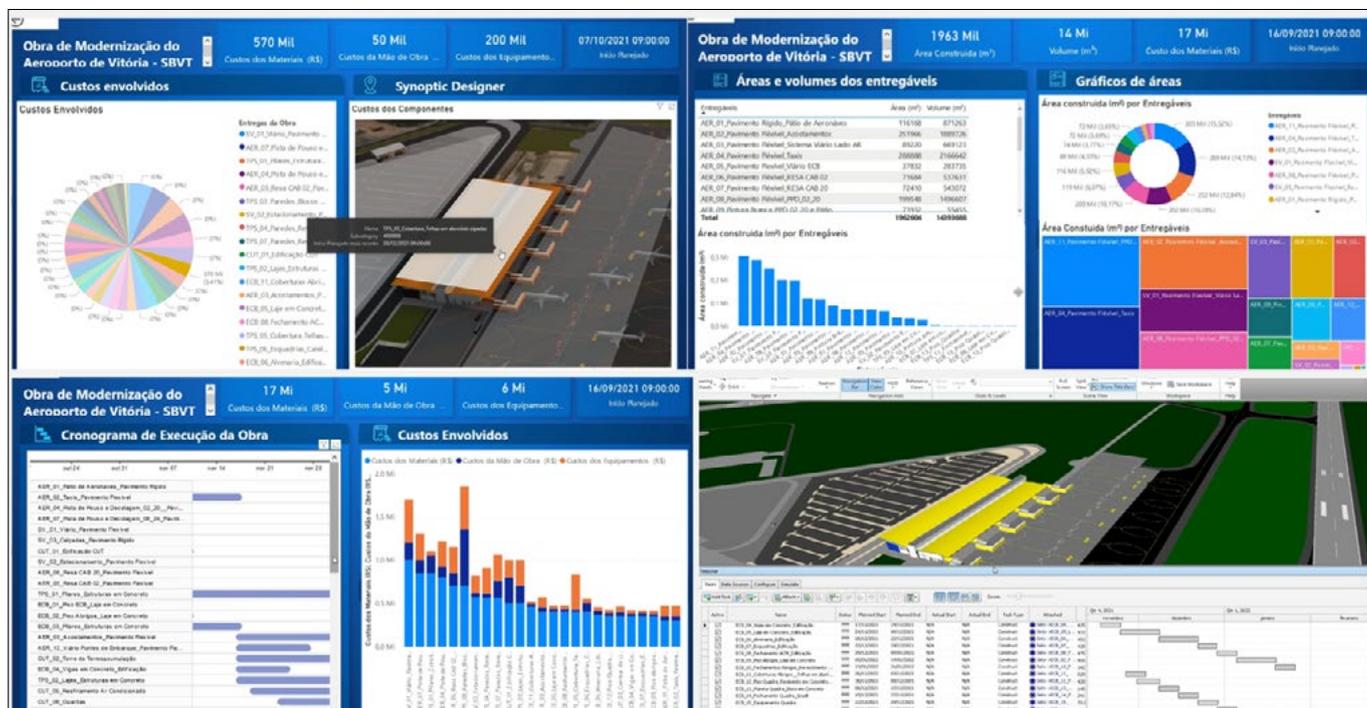


Outra solução a ser adotada é o uso de recursos de Big Data de forma integrada com os modelos BIM. Assim, ao atualizar os modelos BIM, os dados relacionados podem ser atualizados de maneira automática, possibilitando a visualização e compreensão dos resultados por toda a equipe envolvida, com celeridade e eficiência. Em um ambiente aeroportuário, onde há necessidade da gestão de diversas informações que devem ser disponibilizadas e compreendidas por equipes múltiplas, é fundamental o uso dessa integração. Neste caso, sugere-se o Power BI (Microsoft) integrado ao modelo BIM.

Além desse procedimento ser fundamental para o melhor entendimento do projeto em etapas iniciais do processo de desenvolvimento, esse modelo integrado pode ser adotado em todo o ciclo de vida do empreendimento e contemplar outras

Figura 16 ▼
Exemplo do uso do Power BI integrado ao modelo BIM.
Fonte: arquivo dos autores

medidas de segurança no modelo BIM. Pode ser adotado o Navisworks (Autodesk) para vincular o cronograma da obra e o planejamento da segurança ao modelo tridimensional (BIM 4D), o que permite visualizar a simulação da construção e sincronizar os resultados no Power BI, como ilustrado na Figura 16.



5 Considerações finais

Este artigo objetivou apresentar uma proposta de estrutura inicial de metodologia de segurança, baseada em BIM, para aplicação em aeroportos brasileiros nas fases de construção e de operação. Foram apresentadas soluções em BIM, compreendendo o uso de ferramentas tecnológicas e de processos BIM, a serem aplicadas em empreendimentos de edificações e de infraestrutura.

Constatou-se que a metodologia contempla soluções BIM aplicáveis a várias demandas de segurança aeroportuária, em particular nas fases de obras de engenharia e de operação de empreendimentos. Verificou-se também, por meio de estudo de caso, como operacionalizar algumas das soluções BIM, revelando em detalhes os procedimentos. Sendo assim, mostrou-se ser possível estruturar um sistema de planejamento de segurança para aeroportos brasileiros baseado em BIM, com potencial de elevação da segurança.

Nota-se que o caso em estudo – o do Aeroporto de Vitória – configura-se como um dos raros casos de complexos aeroportuários construídos recentemente que contemplam todos os sistemas aeroportuários, cujos registros documentais se encontram acessíveis. Nesse contexto, foi possível realizar o levantamento de projetos, documentos e experiências obtidas a fim de estruturar a aplicação da metodologia. Em aeroportos antigos, o ideal seria aplicar a metodologia em suas interfaces possíveis. A aplicação da metodologia em situações inviáveis – por exemplo, indicando instalações embutidas onde não se tem certeza – tenderia a ocasionar prejuízos na gestão da segurança. Torna-se também importante ressaltar que a proposta aqui estruturada poderia ser adotada em escalas de

bairros e outros conjuntos urbanos, desde que sejam promovidas as adaptações necessárias, em virtude da similaridade com essas estruturas, como relatado por Young e Wells (2014).

O caso em estudo apresenta-se como inovador, contemplando uma metodologia estruturada de segurança, baseada em BIM, para aeroportos brasileiros. Vale lembrar que a mencionada proposta vem ao encontro da entrada em vigor do Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 (BRASIL, 2020a), que tornou o uso da metodologia BIM obrigatória na administração pública federal a partir de 2021.

Como recomendações para novos trabalhos, sugere-se a aplicação desta metodologia em outros conjuntos urbanos ou em estruturas produtivas (shoppings, fábricas) ou de mobilidade urbana (trens, complexos rodoviários). Ajustes seriam realizados, porém, a essência da metodologia poderia ser absorvida. Sugere-se ainda o uso de outras soluções e ferramentas tecnológicas e usos BIM para aplicação desta metodologia. Como última recomendação, sugere-se a aplicação da metodologia em um aeroporto em construção e na fase de operação do empreendimento.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABBONDATI, F.; BIANCARDO, S. A.; PALAZZO, S. A.; PALAZZO, S.; CAPALDO, F. S.; VISCIONE, N. I-BIM for existing airport infrastructures. **Transportation Research Procedia**, v. 45, p. 596-603, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.052>.

ÁLVAREZ, A. P.; ORDIERES-MERÉ, J.; LOREIRO, A. P.; MARCOS, L. Opportunities in airport pavement management: integration of BIM, the IoT and DLT. **Journal of Air Transport Management**, v. 90, 101941, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101941>.

ARAYICI, Y.; COATES, P.; KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M.; USHER, C.; O'REILLY, K. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 189-195, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>.

AZHAR, S. Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 241-252, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127).

AZHAR, S.; BEHRINGER, A. A BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan. *In: ASC ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE*, 49., 2013, San Luis Obispo. **Proceedings** [...]. San Luis

Obispo: ASC, 2013. Disponível em: <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2013/paper/CPRT43002013.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

AZHAR, S.; BEHRINGER, A.; SATTINENI, A.; MAQSOOD, T. BIM for facilitating construction safety planning and management at jobsites. *In: CIB W099 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELLING AND BUILDING HEALTH AND SAFETY*, 2012, Singapore. **Proceedings** [...]. Rotterdam: CIB, 2012. p. 82-92. Disponível em: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC25800.pdf. Acesso em: 27 mar. 2022.

BENJAORAN, V.; BHOKHA, S. An integrated safety management with construction management using 4D CAD model. **Safety Science**, v. 48, n. 3, p. 395-403, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.09.009>.

BIANCARDO, S. A.; VISCIONE, N.; ORETO, C.; VEROPALUMBO, R.; ABBONDATI, F. BIM approach for modeling airports terminal expansion. **Infrastructures**, v. 5, n. 5, 41, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5050041>.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 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, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Brasília, DF: Presidência da República, 2020a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>. Acesso em: 29 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho – AEAT 2021**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Previdência, 2022a. Disponível em: https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/acidente_trabalho_incapacidade/arquivos/copy_of_AEAT_2021/aeat-2021. Acesso em: 13 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 18: segurança e saúde no trabalho na indústria da construção**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Previdência, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-18-atualizada-2020.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 35: trabalho em altura**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Previdência, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-35.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2022.

BRASIL. Ministério Público do Trabalho. Série histórica de acidentes de trabalho (CAT). *In: BRASIL. Ministério Público do Trabalho. Observatório Digital de Segurança e Saúde no Trabalho*. Brasília, DF: Ministério Público do Trabalho, 2022b. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=frequenciaAcidentes>. Acesso em: 29 mar. 2022.

CHANTAWIT, D.; HADIKUSUMO, B. H. W. Integrated 4D CAD and construction safety planning information for a better safety management. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA*, 8., 2003, Bangkok. **Proceedings** [...]. Bangkok: CAADRIA, 2003. p. 891-904. DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2003.891>.

GAMBATESE, J.; HINZE, J. Addressing construction worker safety in the design phase: designing for construction worker safety. **Automation in Construction**, v. 8, n. 6, p. 643-649, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00109-5).

KESKIN, B.; SALMAN, B. Building Information Modeling implementation framework for smart airport life cycle management. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2674, n. 6, p. 98-112, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0361198120917971>.

MARZOUK, M.; DAOUR, I. Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation. **Safety Science**, v. 109, p. 174-185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.023>.

MELZNER, J.; ZHANG, S.; TEIZER, J.; BARGSTÄDT, H.- J. A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 6, p. 661-674, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>.

SINDUSCON-SP – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Indústria da construção reduz o número de acidentes do trabalho**. São Paulo: SindusCon-SP, 2021. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/industria-da-construcao-reduz-o-numero-de-acidentes-do-trabalho/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SULANKIVI, K.; ZHANG, S.; TEIZER, J.; EASTMAN, C. M.; KIVINIEMI, M.; ROMO, I.; GRANHOLM, L. Utilization of BIM-based automated safety checking in construction planning. *In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS (WBC13)*, 19., 2013, Brisbane. **Proceedings** [...]. Brisbane: CIB, 2013. Disponível em: https://wbc2013.apps.qut.edu.au/papers/cibwbc2013_submission_268.pdf. Acesso em: 27 mar. 2022.

YOUNG, S.; WELLS, A. **Aeroportos: planejamento e gestão**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

WALY, A. F.; THABET, W. Y. A virtual construction environment for preconstruction planning. **Automation in Construction**, v. 12, n. 2, p. 139-154, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(02\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(02)00047-X).

ZHANG, S.; LEE, J.-K.; VENUGOPAL, M.; TEIZER, J.; EASTMAN, C. Integrating BIM and safety: an automated rule-based checking system for safety planning and simulation. *In: CIB W099 CONFERENCE*, 2011, Washington. **Proceedings** [...]. Washington, D.C.: CIB, 2011. Disponível em: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24442.pdf. Acesso em: 27 mar. 2022.

ZHANG, S.; SULANKIVI, K.; KIVINIEMI, M.; ROMO, I.; EASTMAN, C. M.; TEIZER, J. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. **Safety Science**, v. 72, p. 31-45, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>.

ZHOU, W.; WHYTE, J.; SACKS, R. Construction safety and digital design: a review. **Automation in Construction**, v. 22, p. 102-111, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.07.005>.

ZHOU, Y.; DING, L. Y.; CHEN, L. J. Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction. **Automation in Construction**, v. 34, p. 25-36, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.011>.

ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 23, n. 6, p. 727-750, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-01-2016-0009>.

ZULKIFLI, M. H.; TAKIM, R.; NAWAWI, A. H. A proposed initial framework of ASRC system for BIM-based projects in Malaysia. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 5, p. 61-67, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.11113/jt.v78.8491>.