

DIRETRIZES DE MODELAGEM PARA APLICAÇÃO DE CODE CHECKING EM PROJETOS AEROPORTUÁRIOS NO BRASIL

Ítalo Santos⁽¹⁾, Max Andrade⁽¹⁾, Nakita Souza⁽¹⁾, Renata Batista⁽¹⁾, Vilberty Vasconcelos⁽²⁾, Horisman Mattos⁽²⁾, Adriana Rolim⁽³⁾, Marcio Fernandes⁽³⁾

(1) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife - PE, 0000-0003-4071-246X

(1) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife - PE, 0000-0003-0717-1251

(1) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife - PE, 0009-0000-8369-6047

(2) Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE, 0000-0002-6282-5708

(3) Secretária Nacional de Aviação Civil (SAC), Brasília - DF, 0000-0003-0499-2660

(3) Secretária Nacional de Aviação Civil (SAC), Brasília - DF, 0000-0001-9082-4123

Resumo

Projetos aeroportuários caracterizam-se por elevada complexidade, decorrente de suas especificidades operacionais, dos rigorosos requisitos funcionais e da diversidade de sistemas e elementos que compõem sua infraestrutura. Para assegurar conformidade com normas e diretrizes técnicas, o uso de Code Checking and Validation (CC) aplicado a modelos BIM apresenta potencial para tornar o processo de avaliação mais eficiente, transparente e rastreável. Contudo, a efetividade do CC depende da adequada estruturação dos requisitos de informação nos Project Information Models (PIM), garantindo que contenham dados necessários e suficientes à verificação normativa automatizada. Este artigo apresenta resultados parciais de pesquisa cujo objetivo é desenvolver diretrizes de modelagem de PIM voltadas à aplicação do CC na análise de projetos aeroportuários submetidos a processos de aceitação institucional. A investigação adota o método Design Science Research e propõe um Quadro de Diretrizes de Modelagem que organiza parâmetros, propriedades e metadados alinhados ao conceito de Level of Information Need (LOIN). O quadro busca assegurar consistência informacional, interoperabilidade e rastreabilidade dos modelos, viabilizando auditorias automatizadas. Aplicado às disciplinas de terraplenagem, o estudo contribui para a padronização de práticas, fortalece a maturidade digital do setor e aproxima o debate brasileiro das iniciativas internacionais voltadas ao domínio aeroportuário.

1. Introdução

Projetos aeroportuários configuram-se como empreendimentos de elevada complexidade técnica, funcional e institucional, decorrente da integração de múltiplas disciplinas de engenharia e arquitetura, da diversidade de sistemas que compõem a infraestrutura aeroportuária e do elevado rigor dos requisitos normativos e operacionais a que estão submetidos. Além de atenderem simultaneamente às exigências de segurança operacional, eficiência logística, conforto do passageiro e sustentabilidade, os aeroportos demandam

processos de projeto capazes de gerenciar interfaces críticas entre sistemas, etapas do ciclo de vida e distintos agentes institucionais, tais como projetistas, operadores, concessionárias e órgãos reguladores. Nesse contexto, a gestão estruturada da informação assume papel central na garantia da qualidade, da confiabilidade e da rastreabilidade dos projetos aeroportuários.

No contexto brasileiro, tais desafios são potencializados pela heterogeneidade dos processos de contratação, pela coexistência de diferentes níveis de maturidade na gestão da informação entre os agentes envolvidos e pela crescente demanda por transparência e padronização nas análises técnicas realizadas por órgãos de fiscalização e controle. Estudos institucionais e técnicos indicam que a ausência de padronização informacional e de diretrizes claras para a produção de Modelos de Informação do Projeto (PIM), no âmbito de uma prática baseada em *Building Information Modeling* (BIM), compromete a interoperabilidade e dificulta o uso consistente das informações ao longo do ciclo de vida de empreendimentos públicos (TCU, 2021; MDIC, 2023). Nesse cenário, a adoção do BIM tem sido reconhecida como uma estratégia relevante para o enfrentamento dessas limitações, sobretudo em razão de sua capacidade de integrar informações geométricas e não geométricas em modelos digitais compartilhados (Eastman et al., 2011). Contudo, o uso do BIM não garante, por si só, a qualidade e a consistência dos dados, especialmente na ausência de critérios claros para definição das informações necessárias aos diferentes usos do modelo.

Diante desse cenário, usos avançados do BIM, como o *Code Checking and Validation* (CC), têm sido destacados na literatura como instrumentos promissores para aprimorar os processos de verificação e validação de projetos, ao possibilitarem a análise sistemática e automatizada do atendimento a requisitos normativos, técnicos e funcionais (Zhang et al., 2013; Solihin e Eastman, 2015). A aplicação do CC contribui para redução da dependência de verificações manuais, para o aumento da rastreabilidade das análises e para o suporte a decisões mais objetivas por parte de projetistas e analistas técnicos. Entretanto, a efetividade desse uso depende da qualidade e da consistência dos dados presentes no modelo, uma vez que a aplicação de regras automatizadas requer que os dados necessários estejam explicitamente definidos, consistentes e semanticamente interpretáveis.

A interoperabilidade, compreendida como a capacidade de diferentes sistemas, ferramentas e agentes de trocar, interpretar e reutilizar informações de forma consistente, constitui um dos principais desafios para a aplicação do CC em ambientes reais de projeto, especialmente em empreendimentos de elevada complexidade, como os aeroportos. A inexistência de diretrizes claras para a estruturação do *Project Information Model* (PIM) compromete a extração automatizada de informações, gera ambiguidades semânticas e limita o potencial de reutilização dos modelos em processos de verificação, auditoria e fiscalização (Venugopal et al., 2012; Sacks et al., 2018). No contexto aeroportuário, tais limitações tornam-se ainda mais críticas em razão da diversidade de elementos, sistemas técnicos e requisitos normativos específicos que caracterizam esse tipo de infraestrutura.

As normas da série ISO 19650, em especial a ISO 19650-2, estabelecem um referencial estruturado para a gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos ativos, com ênfase na fase de entrega dos empreendimentos. Nesse contexto, o conceito de *Level of Information Need* (LOIN) emerge como evolução dos tradicionais níveis de desenvolvimento da informação (LOD/LOI), ao propor uma abordagem mais precisa e orientada ao propósito do uso da informação. Diferentemente das abordagens baseadas em níveis genéricos de detalhamento, o LOIN define explicitamente quais informações são necessárias, em que momento e para qual finalidade, estando diretamente associado aos requisitos de troca de informação (*Exchange*

Information Requirements – EIR) e aos marcos de entrega informacional. Essa mudança de paradigma é particularmente relevante para aplicações como o CC, nas quais a verificação automatizada depende da presença de informações específicas, estruturadas e semanticamente consistentes nos PIM.

Observa-se, assim, uma lacuna tanto na literatura quanto na prática profissional no que se refere à definição de diretrizes de modelagem capazes de orientar a estruturação do PIM de forma compatível com processos de verificação automatizada em projetos aeroportuários. Embora iniciativas internacionais, como as discussões em curso no *Airport Domain Room* da buildingSMART, avancem no sentido de padronizar abordagens para o domínio aeroportuário (buildingSMART, 2023), ainda são limitados os estudos que traduzem esses referenciais em orientações operacionais aplicáveis ao contexto brasileiro.

Este artigo apresenta resultados parciais de pesquisa em desenvolvimento na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em parceria com a Coordenação-Geral de Projetos Aeroportuários (CGPA) da Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), vinculada ao Ministério de Portos e Aeroportos. O estudo descreve o processo de elaboração de diretrizes de modelagem para a estruturação PIM, com foco na aplicação do CC em projetos aeroportuários submetidos à análise da CGPA/SAC. Adotando o método *Design Science Research* (DSR), a pesquisa propõe um Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD), que sistematiza parâmetros, propriedades e metadados alinhados ao LOIN e às etapas de produção colaborativa da informação. Instanciada neste artigo na disciplina de terraplenagem, as diretrizes visam padronizar práticas de modelagem, fortalecer a interoperabilidade e contribuir para a maturidade digital do setor aeroportuário brasileiro.

2. Desafios de interoperabilidade em Projetos aeroportuários

Nos projetos aeroportuários, os desafios de interoperabilidade associados ao uso do BIM manifestam-se na dificuldade de estruturar modelos capazes de suportar usos avançados ao longo do ciclo de vida. A presença de múltiplas disciplinas e requisitos normativos exige que os dados sejam organizados de forma consistente e semanticamente interpretáveis, condição ainda pouco atendida na prática.

No contexto do CC, essa limitação torna-se crítica, uma vez que a verificação automatizada depende da existência de parâmetros e propriedades explicitamente definidos nos modelos. A ausência ou inconsistência desses dados compromete a confiabilidade das análises e restringe sua aplicação em processos de auditoria e fiscalização.

No contexto brasileiro, essas dificuldades são agravadas pela ausência de diretrizes específicas que orientem a estruturação do PIM em função dos requisitos de informação associados aos diferentes usos do BIM em projetos aeroportuários. Embora normas como a ISO 19650 estabeleçam princípios gerais para a gestão da informação, sua aplicação prática ainda ocorre de forma fragmentada, sem o alinhamento sistemático entre expectativas informacionais, níveis de desenvolvimento dos modelos e requisitos de verificação normativa (ISO, 2018; ISO, 2021; ISO, 2024). Como consequência, observa-se um descompasso recorrente entre o potencial do BIM para suportar processos de CC e as condições reais dos PIMs entregues para análise regulatória, frequentemente marcadas por lacunas informacionais, inconsistências semânticas e ausência de padronização. Estudos recentes desenvolvidos no âmbito da SAC mostram que tais limitações comprometem a automação da verificação normativa e reforçam a necessidade de

diretrizes de modelagem explicitamente orientadas à interoperabilidade, à rastreabilidade e à auditabilidade das informações em projetos aeroportuários (Santos et al., 2025a; Santos et al., 2025b).

3. Método (Design Science Research)

Diante dos desafios de interoperabilidade associados à estruturação do PIM para viabilizar a aplicação do CC em projetos aeroportuários, adotou-se o método Design Science Research (DSR). Essa abordagem permite o desenvolvimento de artefatos voltados à resolução de problemas práticos, mantendo rigor metodológico e contribuição científica (Hevner et al., 2004; Peffers et al., 2007).

Neste estudo, tais desafios são tratados como um problema de gestão da informação, relacionado à forma como os modelos BIM são estruturados e preparados para suportar a verificação automatizada. O DSR orientou a identificação dos requisitos informacionais necessários ao uso do CC no contexto da SAC e o desenvolvimento de um Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD), responsável por organizar parâmetros, propriedades e metadados a serem incorporados aos PIM. Além disso, o método permitiu alinhar as diretrizes propostas às fases de produção da informação, assegurando que os dados requeridos para a avaliação automatizada dos requisitos estejam adequadamente estruturados nos modelos.

Por meio das fases de condução do DSR, foi possível estruturar as etapas apresentadas a seguir, correspondentes às fases de conscientização, sugestão, desenvolvimento e avaliação. As etapas propostas e detalhadas neste artigo são as seguintes: (1) Análise dos requisitos adotados pela equipe da CGPA/SAC no processo de aceitação de projetos aeroportuários, com a identificação daqueles passíveis de verificação automatizada a partir de modelos BIM; (2) A partir da identificação dos requisitos passíveis de verificação por meio de CC, procedeu-se à definição da estratégia de implementação no software de avaliação, classificando cada requisito quanto à sua tradução em Regra (.cset) ou em *Information Takeoff* (ITO) no Solibri Office (da Nemetschek); (3) Elaboração do QD, contemplando o LOIN dos PIMs das disciplinas a serem analisadas, em nível necessário e suficiente para atender aos requisitos de aceitação de projetos adotados pela CGPA/SAC; (4) Desenvolvimento de um PIM experimental incorporando os LOINs definidos para as disciplinas selecionadas, de modo a viabilizar a verificação dos requisitos previamente mapeados; (5) Exportação do PIM do software autoral para o ambiente de checagem automatizada, por meio do esquema IFC, assegurando a interoperabilidade do modelo; (6) Configuração e implementação das regras (.cset) e/ou ITO no Solibri Office, conforme a estratégia definida; (7) Realização da checagem automatizada dos requisitos no Solibri Office, com base nas regras e ITO desenvolvidos; (8) Consolidação do QD correspondente aos LOIN necessários e suficientes para a avaliação dos requisitos adotados pela CGPA/SAC via CC. Caso os resultados obtidos não atendam aos critérios estabelecidos, o processo é retroalimentado, reiniciando-se as etapas pertinentes.

O encadeamento dessas oito etapas está sintetizado na Figura 1, tendo como ponto de partida a definição dos requisitos adotados pela CGPA/SAC para a aceitação de projetos aeroportuários. Esses requisitos técnicos, organizados por disciplinas, totalizam 2.821 itens. No âmbito desta pesquisa, identificou-se que aproximadamente 420 apresentam potencial de verificação automatizada por meio de ferramentas de CC no Solibri Office. A partir desse universo, foram priorizados 106 requisitos, distribuídos em 10 especialidades técnicas, selecionados por seu

maior impacto no tempo de análise e aceitação dos projetos. Esse conjunto fundamenta o desenvolvimento das diretrizes de modelagem e das regras de verificação. Neste artigo, apresenta-se a aplicação do método a um único requisito, com finalidade ilustrativa e de prova de conceito.

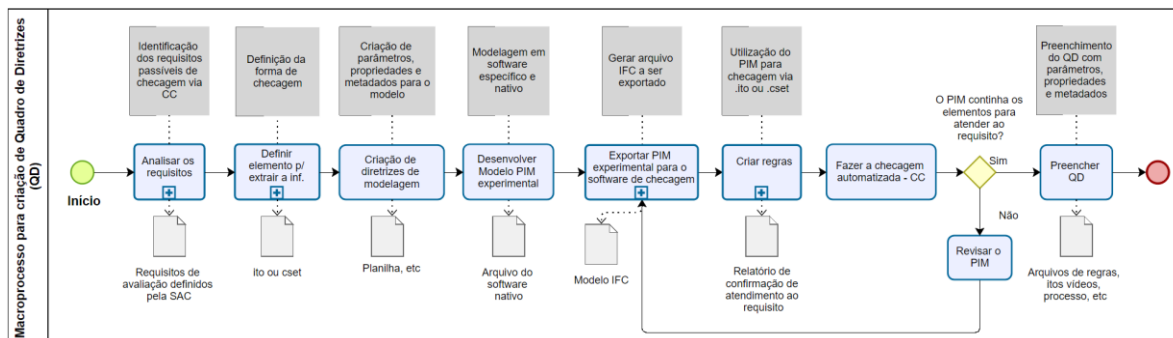


Figura 1: Etapas propostas para a criação do Quadro de Diretrizes de Modelagem.

4. Construção do Quadro de diretrizes de modelagem (QD)

O Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD) tem como objetivo estabelecer, de forma estruturada, as informações mínimas exigidas para cada regra de verificação automatizada no contexto do Code Checking. Ao explicitar previamente os dados necessários à avaliação dos requisitos, o QD orienta a modelagem dos PIM e reduz ambiguidades quanto ao conteúdo informacional esperado, contribuindo para a consistência e a viabilidade das análises automatizadas ao longo do processo. Sua função é servir de referência para a definição de parâmetros, propriedades e metadados que devem estar presentes nos PIMs, contribuindo para a qualidade dos modelos e sua interoperabilidade entre softwares de modelagem e de checagem do modelo.

4.1 Prova de Conceito QD

A prova de conceito do QD foi conduzida a partir do requisito 1.1 da disciplina de Terraplenagem: “As distâncias médias de transporte de corte e aterro foram corretamente definidas?” Essa disciplina foi selecionada por sua relevância em projetos aeroportuários. Este exemplo mostra a aplicabilidade do QD em um contexto caracterizado por um ITO de conformidade, bem como pela necessidade de integração entre informações geométricas e informacionais no PIM.

4.2 Preenchimento do Quadro de Diretrizes de Modelagem

Definido o requisito (Etapa 1) e identificando o requisito como ITO (Etapa 2) partiu-se para encontrar o LOIN que precisam estar contidos no PIM de terraplenagem para responder a esse requisito (Etapa 3). O quadro em vermelho na Figura 2 sintetiza os níveis necessários de informação do PIM. Definidas essas informações foi modelado um PIM experimental (Etapa no Civil 3D (da Autodesk), ver Figura 02. Em azul se destaca o PIM e em vermelho o LOIN definido na Etapa 3.

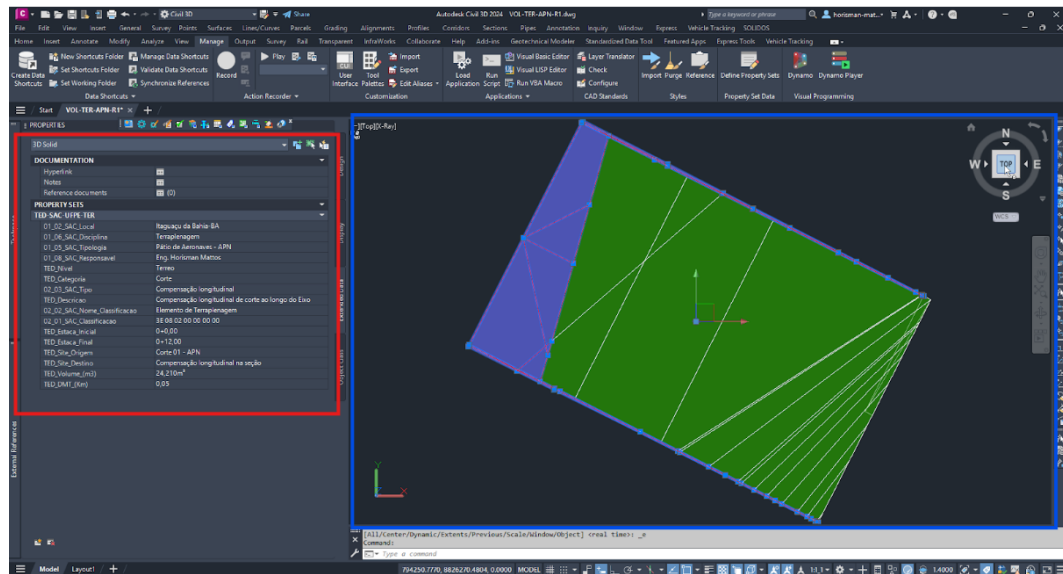


Figura 2: Tela do Civil 3D com a superfície de terraplenagem contendo as diretrizes estabelecidas (retângulo em vermelho).

Após a criação do PIM este é exportado no esquema IFC para o Solibri Office (Etapa 5). Em seguida são criadas as ITO nesse software (Etapa 6) visando checar as informações necessárias para responderem ao requisito 1.1 “As distâncias médias de transporte de corte e aterro foram corretamente definidas” podem ser extraídas a partir do PIM na forma como está estruturada (Etapa 7). A Figura 3 Mostra o PIM exportado e os ITOs resultantes.

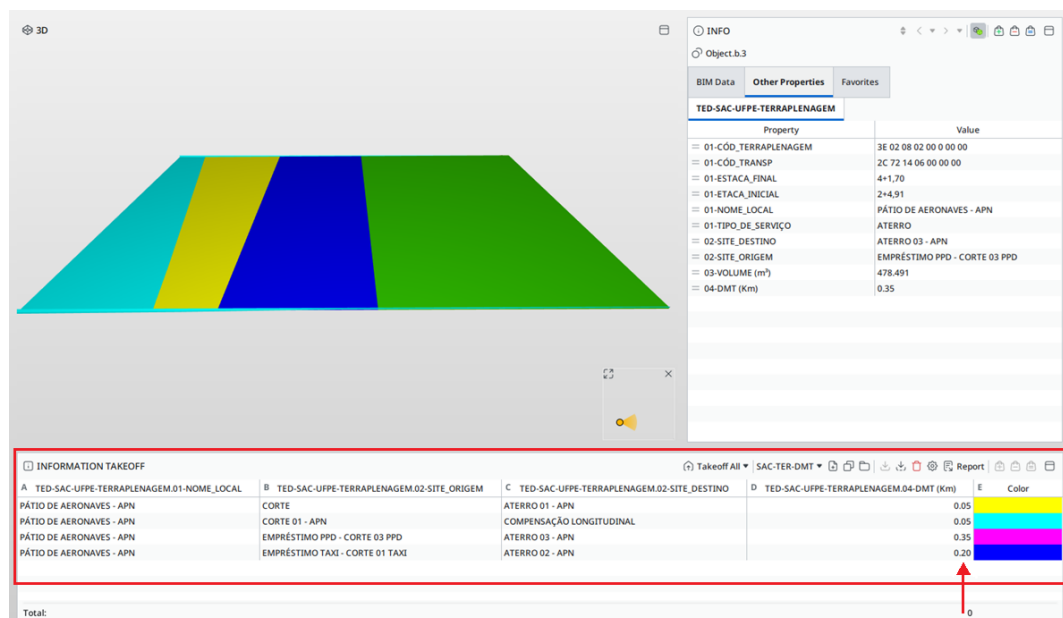


Figura 3: Tela do Solibri Office com destaque (retângulo em vermelho) para os ITOs respondendo o requisito 1.1.

Após passadas pelas etapas de 1 a 7 e testadas, ao consolidar os resultados passassem para a criação do QD - Etapa 8. A Figura 4 apresenta o QD do requisito apresentado neste artigo. O primeiro campo contém as informações gerais dos requisitos, como identificação, descrição e condição de verificação, permitem explicitar o vínculo entre o requisito normativo e o critério a ser avaliado no processo de checagem. Esses campos estão diretamente associados ao LOIN, na medida em que tornam explícitos os dados que devem estar disponíveis no modelo para viabilizar a verificação automatizada, reduzindo ambiguidades quanto às informações mínimas exigidas para cada regra.

Terraplenagem (TER)				
Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD) - Conjunto de Requisitos				
Informações Gerais (regras)			Propriedade IFC	Diretrizes de modelagem
Nº do Requisito Manual SAC	Código de checagem (SMC)	Descrição (checklist CGPA/SAC)	Entidade	
1.1	SAC-TER-QA-1.1	As Distâncias Médias de Transporte foram corretamente definidas?	IfcBuildingElementProxy	Ao modelar os elementos de terraplenagem relacionados ao transporte de material, estes devem ser representados como IfcBuildingElementProxy, quando não houver entidade IFC mais específica disponível. Os elementos devem ser estruturados de forma a permitir o levantamento automatizado da distância média de transporte (DMT), por meio da associação entre os locais de origem e destino dos materiais movimentados. A modelagem deve garantir a rastreabilidade do fluxo de material entre áreas de corte, aterro e bota-fora, possibilitando a correlação entre os volumes transportados e as respectivas distâncias percorridas. Os elementos devem estar organizados de forma consistente, evitando ausência, duplicidade ou inconsistência nas informações necessárias ao cálculo da DMT. Incluir as propriedades (Psets): - 02-SITE_ORIGEM - 02-SITE_DESTINO - 04-DMT (km) - 03-VOLUME (m³) Observação: incluir os parâmetros INFO 9 a 14 da aba Parâmetros.

Figura 4: Quadro de Diretrizes de Modelagem com 1 requisito.

A Figura 4 apresenta a aplicação do QD em um requisito específico, evidenciando sua operacionalização, enquanto sua estrutura permite replicação em diferentes disciplinas.

Os campos referentes às informações da plataforma BIM, incluindo a identificação das famílias de componentes, famílias de sistema e elementos modelados no local, evidenciam a correspondência entre os requisitos informacionais e a estrutura do modelo. O QD contribui para alinhar a definição dos elementos modelados ao nível de desenvolvimento requerido para a aplicação das verificações de terraplenagem, assegurando que o modelo contenha informações compatíveis com o uso pretendido. A coluna de Diretrizes de Modelagem reúne as orientações destinadas às equipes de projeto, assegurando a incorporação dos dados requeridos à checagem. Esse campo traduz os requisitos informacionais em instruções práticas de modelagem, conectando o QD à elaboração do PIM.

O QD é disponibilizado como instrumento de apoio à produção dos modelos, orientando a incorporação consistente das informações requeridas para verificação. Nesse contexto, os parâmetros adotados devem seguir o quadro associado ao QD, incluindo a classificação conforme a NBR 15965, os Property Sets (Psets) necessários à modelagem e o tipo de dado de cada propriedade (por exemplo, texto, numérico). Alinhado à gestão da informação conforme a ISO 19650-2, o QD atua como um artefato de apoio ao subprocesso de produção da informação, ao explicitar previamente os requisitos informacionais que devem ser incorporados

aos modelos durante sua elaboração, contribuindo para sua qualidade e verificabilidade antes da submissão para análise.

4.3 Estratégia de validação e fluxo de aplicação do QD

A validação prática do QD, embora ainda em estágio inicial, está sendo estruturada a partir de sua inserção no fluxo institucional de análise de projetos aeroportuários conduzido pela CGPA/SAC. Esse fluxo estabelece os papéis e responsabilidades dos diferentes agentes envolvidos na produção, submissão e avaliação dos PIM, conforme descrito a seguir: (1) A SAC, por meio da CGPA, estrutura e disponibiliza o QD como instrumento orientador, o qual é incorporado pela instituição fiscalizadora responsável pelo recebimento e análise inicial dos projetos; (2) A instituição fiscalizadora adota o QD como referência e o transmite às empresas contratadas, responsáveis pelo desenvolvimento dos projetos; (3) A contratada desenvolve o PIM em conformidade com as diretrizes estabelecidas no QD, assegurando a incorporação dos requisitos informacionais necessários à verificação automatizada; (4) O PIM é submetido pela contratada à instituição fiscalizadora, que realiza uma análise preliminar de conformidade; (5) O modelo é então encaminhado à CGPA/SAC, que conduz a verificação automatizada dos requisitos por meio de ferramentas de CC; (6) Com base nos resultados da checagem, a SAC emite parecer técnico, indicando conformidades e não conformidades identificadas; (7) O parecer é consolidado pela instituição fiscalizadora e comunicado à contratada, que procede com eventuais ajustes no modelo.

Esse fluxo evidencia que o QD atua como elemento estruturador da informação ao longo de todo o processo, desde a concepção do modelo até sua avaliação final, permitindo alinhar as expectativas informacionais entre os diferentes agentes e viabilizar a aplicação consistente do *Code Checking* em ambiente institucional.

5. Conclusões

Este artigo apresentou uma proposta de diretrizes de modelagem voltadas à aplicação do *Code Checking* (CC) em projetos aeroportuários, com foco na estruturação do PIM e na definição dos dados necessários à verificação automatizada. A partir da abordagem metodológica baseada em DSR, foi desenvolvido o Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD), concebido como um instrumento informacional capaz de apoiar equipes de projeto na incorporação sistemática de parâmetros, propriedades e metadados compatíveis com o uso do CC.

Como principal contribuição, o QD permite explicitar, de forma estruturada, a relação entre requisitos normativos, LOIN e elementos do modelo BIM. Ao organizar essas informações em um único instrumento, a proposta contribui para a melhoria da qualidade dos modelos e para a aplicação do CC em projetos aeroportuários. A prova de conceito desenvolvida para a disciplina de Terraplenagem demonstrou a viabilidade de aplicação do QD como apoio à estruturação do PIM, evidenciando seu potencial para orientar a modelagem de forma compatível com os requisitos de checagem.

No contexto institucional brasileiro, a proposta apresenta aderência aos processos de análise e fiscalização conduzidos por órgãos como a SAC, ao oferecer um instrumento que favorece a padronização da informação e a rastreabilidade dos requisitos normativos nos modelos digitais. Nesse sentido, o QD pode atuar como elemento de aproximação entre as práticas de modelagem adotadas pelas equipes de projeto e as exigências informacionais necessárias à avaliação técnica

de projetos aeroportuários, contribuindo para maior transparência e eficiência nos processos de análise.

Apesar das contribuições apresentadas, o estudo possui limitações. A prova de conceito foi restrita a uma única disciplina e a um único requisito, não abrangendo outras áreas relevantes dos projetos aeroportuários, como pavimentação, drenagem ou sistemas prediais. Além disso, o QD foi aplicado em um modelo de caráter exemplificativo, não sendo testado em um empreendimento aeroportuário real com múltiplas disciplinas integradas.

Esta pesquisa vem ampliando o uso do QD para outras especialidades, bem como pretende validar em projetos reais submetidos à SAC. Estudos adicionais também vêm em etapas iniciais explorando a integração do QD com bibliotecas de regras, ambientes de *Common Data Environment* (CDE) e iniciativas de padronização local, fortalecendo a interoperabilidade e a maturidade digital dos projetos aeroportuários brasileiros.

Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011.
- [2] J. Zhang, S. El-Gohary and C. Eastman, “Automated information transformation for rule checking in BIM-based building models,” *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 50–64, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2012.09.004.
- [3] W. Solihin and C. Eastman, “A framework for automated rule checking of building information models,” *Automation in Construction*, vol. 46, pp. 69–84, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.03.003.
- [4] M. Venugopal, C. Eastman, R. Sacks and J. Teizer, “Semantics of model checking: A framework for building information modeling,” *Automation in Construction*, vol. 21, pp. 134–145, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2011.06.012.
- [5] R. Sacks, C. M. Eastman, G. Lee and P. Teicholz, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2018.
- [6] International Organization for Standardization (ISO), *ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles*. Geneva, Switzerland, 2018.
- [7] International Organization for Standardization (ISO), *ISO 19650-2:2021 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 2: Delivery phase of the assets*. Geneva, Switzerland, 2021.
- [8] Tribunal de Contas da União (TCU), *Referencial Básico de BIM*. Brasília, Brazil, 2021. [Online]. Available: <https://portal.tcu.gov.br>. Accessed: 2026.
- [9] Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), *Estratégia BIM BR: Relatório de Implementação*. Brasília, Brazil, 2023. [Online]. Available: <https://www.gov.br/mdic>. Accessed: 2026.
- [10] buildingSMART International, *Airport Domain – Technical Overview*. Oslo, Norway, 2023. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org>. Accessed: 2026.

- [11] I. G. Santos, M. L. V. X. Andrade, G. Barbosa, V. Falcão, N. Souza, A. Rolim, M. Guimarães, E. Melo, F. Souza and R. Batista, “Implementação de verificação automatizada de regras em projetos aeroportuários na Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC),” in *Simpósio Internacional de Transporte Aéreo (SITRAER)*, Brasília, Brazil, 2025.
- [12] I. G. Santos, N. Souza, M. L. V. X. Andrade, G. Barbosa, V. Falcão, A. Rolim, M. Guimarães, E. Melo, F. Souza and R. Batista, “Priorização de critérios técnicos visando automatizar o processo de aceitação de projetos aeroportuários junto à Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC),” in *Simpósio Internacional de Transporte Aéreo (SITRAER)*, Brasília, Brazil, 2025.
- [13] C. Eastman, J.-M. Lee, Y.-S. Jeong and J.-K. Lee, “Automatic rule-based checking of building designs,” *Automation in Construction*, vol. 18, no. 8, pp. 1011–1033, 2009, doi: 10.1016/j.autcon.2009.07.002.