



Estudo da interoperabilidade BIM de softwares comerciais para projetos de pontes

Letícia Negrís Gardioli¹, Diôgo Silva de Oliveira², Kléos Magalhães Lenz Cesar Júnior³, José Maria Franco de Carvalho⁴, José Carlos Lopes Ribeiro⁵, Guilherme Palla Teixeira⁶, Matheus Sant'Anna Andrade⁷, Victor Moreno Lima⁸, Darlane Ilvênia Ferreira⁹

¹ Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / leticia.gardioli@ufv.br

^{2,3,4,5,6,7,8,9} Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / diogooliveira@ufv.br, kleos@ufv.br, josemaria.carvalho@ufv.br, jcarlos.ribeiro@ufv.br, guilherme.palla@ufv.br, matheus.andrade@ufv.br, victor.moreno@ufv.br, darlane.ferreira@ufv.br.

Resumo

O BIM representa um significativo avanço na indústria da construção civil, permitindo elaborar modelos complexos de forma detalhada e integrada. No entanto, a adaptação das ferramentas de projeto é desafiadora, pois cada empresa utiliza uma linguagem de programação própria no desenvolvimento de seus softwares, o que impacta diretamente na comunicação entre eles. O formato de arquivo neutro surge como uma forma de sanar essa deficiência. O mais amplamente difundido entre eles é o IFC, que, embora represente um grande avanço, apresenta uma implementação complexa, especialmente em obras de infraestrutura, que possuem características específicas e componentes próprios. Considerando seu potencial, é importante que o BIM tenha aplicabilidade real não só em projetos de edificações, onde seu uso já está em expansão, mas também, em projetos de infraestrutura no qual ainda se vivenciam poucos avanços. Nesse sentido, o presente trabalho busca avaliar o atual cenário da utilização do BIM em projetos de pontes, dando ênfase à interoperabilidade entre *softwares*. Para isso elaborou-se o modelo BIM de uma ponte monolítica em concreto armado, em um *software* comercial de modelagem, atribuindo semântica através da definição das entidades IFC específicas de cada elemento estrutural, que foram modelados através de objetos paramétricos. A partir do modelo BIM, o arquivo .ifc gerado foi exportado e posteriormente importado em quatro *softwares* comerciais de empresas distintas, avaliando-se o intercâmbio de informações. Ao final do desenvolvimento do estudo, percebeu-se que o nível de interoperabilidade entre os *softwares* analisados inviabiliza a aplicação de um fluxo OpenBIM em projetos de pontes uma vez que o resultado médio de transmissão de informações entre todos os *softwares* corresponde a cerca de 53,7 %, mostrando que ainda há um longo caminho para que haja o pleno emprego do BIM neste tipo de projeto.

Palavras-chave

BIM; projeto de pontes; fluxo OpenBIM; nível de interoperabilidade.

Introdução

O BIM (*Building Information Modeling*), apesar dos desafios ainda vivenciados, traz retornos significativos uma vez que diminui erros de compatibilidade e minimiza retrabalhos, dado o aumento na precisão e clareza nos detalhamentos construtivos que facilitam a execução. (BERNSTEIN et al., 2014). Além disso, equipes das diferentes fases de concepção, em qualquer lugar, conseguem se comunicar e compartilhar informações entre as diferentes disciplinas de projeto (SACKS et al., 2016).

Governos do mundo todo vêm reforçando essa importância através de incentivo, fomento e utilização, empregando a tecnologia em suas obras e estabelecendo normas, decretos e diretrizes, os benefícios retornam em forma de eficiência na aplicação dos recursos públicos (BRITO, 2019).

Porém, apesar dos benefícios advindos do uso da tecnologia BIM na indústria da construção civil, ainda existem lacunas que precisam ser solucionadas para promover o seu pleno emprego, tanto em projetos de edificações, quanto, principalmente, em projetos de infraestrutura (CORRÊA et al., 2019).

Segundo Strieder e Schreinert (2022), a utilização do BIM nos projetos de infraestrutura possibilita a melhoria no controle e gerenciamento de um extenso volume de dados, na compreensão dos projetos, na transparência e precisão dos orçamentos, além de uma melhor gestão de riscos.

Dentre as obras de infraestrutura, destaca-se a construção de pontes que, por sua grandeza, tem considerável impacto arquitetônico nas cidades, além da extrema importância econômica, tendo papel crucial no fluxo de mercadorias e pessoas. A complexibilidade e a magnitude dessas obras de arte especiais, somadas à baixa disponibilidade de mão de obra especializada e de ferramentas computacionais voltadas a este tipo de empreendimento limitam sua qualidade e o desenvolvimento de metodologias de projeto associadas à novas tecnologias (SERRA *et al.*, 2022).

Um aspecto fundamental do uso do BIM é sua capacidade de integrar funcionalidades de diferentes softwares, permitindo a visualização de resultados e o compartilhamento de informações de projeto em várias disciplinas, possibilitando a detecção de conflitos ao longo do desenvolvimento projetual, antes da fase de construção. Para isso, é necessário que a troca de informações se dê com a máxima eficiência, ou seja, que estes softwares sejam interoperáveis entre si (SINGH *et al.*, 2024).

Para Andrade e Ruschel (2009) “a interoperabilidade é uma condição para o desenvolvimento de uma prática integrada”. Se um sistema de comunicação entre softwares não possuir uma base interoperável sólida, a colaboração e cooperação entre os profissionais envolvidos serão, a depender da quantidade de informações do modelo, impraticáveis (ALVES, 2018).

A falta de uma linguagem comum resulta na reintrodução de dados, na interação limitada, na dificuldade de comunicação entre *softwares*, e no uso ineficaz das tecnologias da informação. O formato não proprietário mais comumente utilizado e difundido entre as ferramentas BIM, na tentativa de minimizar essas deficiências, é o IFC (*Industry Foundation Classes*) (DLUBAL, 2021).

Para Bradley *et al.* (2016), o IFC é um formato de dados comum e aberto que possibilita a troca de informações entre diferentes disciplinas de projeto. Esse formato oferece uma definição precisa e confiável dos elementos do modelo, bem como de seus relacionamentos, propriedades e informações descritivas associadas.

O IFC é desenvolvido e mantido pela *BuildingSMART*, anteriormente denominada *International Alliance for Interoperability* (IAI), uma organização internacional que tem o objetivo de impulsionar os setores de infraestruturas e edifícios por meio do desenvolvimento de padrões e soluções abertas e internacionais de projetos. O IFC é registrado como um padrão internacional pela ISO 16739 (2023).

Com a versão IFC4X3_ADD2 (*BuildingSMART*, 2024a), as pontes passaram a ter maior representação através da inserção de parâmetros que conferem sentido real à elementos estruturais específicos. Entretanto, esta versão ainda não foi implementada em grande parte dos *softwares*, como mostrado na página oficial de participantes certificados da *BuildingSMART* (*BuildingSMART*, 2025a), o que dificulta a análise do nível de avanços percebidos através dessa nova atualização.

Apesar de estar consolidado como meio principal de interoperabilidade, ainda existem lacunas que impedem a plena colaboração em um fluxo de projetos em BIM através do compartilhamento de arquivos IFC. Segundo Birkemo *et al.* (2019), no que tange à elaboração de projetos estruturais, o desafio enfrentado é o de alcançar a integridade do modelo analítico através do modelo BIM. Esse impasse se intensifica ainda mais em projetos de pontes, tendo em vista a recente implementação de classes que representam semanticamente seus elementos em IFC.

Neste cenário, este trabalho busca explorar o nível de desenvolvimento do BIM para projetos de infraestrutura, em específico à projetos de pontes, destacando os desafios ainda existentes, uma vez que são recentes os avanços percebidos para este tipo de projeto.

Fundamentação Teórica

Com o objetivo de analisar fluxos de trabalho para o desenvolvimento de projetos de pontes, Serra *et al.* (2022) fizeram um estudo comparando ferramentas de modelagem em BIM de três empresas distintas (Allplan, Autodesk e Bentley), de modo a obter um fluxo de trabalho que integre modelação, documentação de projeto, coordenação e cálculo estrutural. Para tal, os autores utilizaram como projeto base uma ponte de concreto pré-moldado de três vãos, com longarinas em I pré-fabricadas, com traçado curvo tanto em planta quanto em perfil.

A Allplan é uma empresa global de *softwares* de engenharia e umas das pioneiras na inserção do BIM. É subsidiada pelo do Grupo Nemetschek Company, que também é responsável pelo *software* de análise estrutural Scia Engineer. No Brasil, a empresa representante da Allplan e do grupo Nemetschek é a BIM Works Brasil, uma empresa que foca no desenvolvimento de fluxos de trabalho BIM e na comercialização de *softwares* que fazem uso desta tecnologia. Dentre os *softwares* da Allplan, destaca-se o Allplan Bridge e o Allplan Engineering que trabalham de forma conjunta para modelagem BIM e detalhamento estrutural.

A Autodesk é a maior empresa do mercado de *softwares* voltados para a indústria AECO. Possui *softwares* já consolidados no mercado tanto em CAD quanto em BIM, como o AutoCAD e o Revit. Na área de infraestrutura possui o Civil3D, além do *software* de análise e dimensionamento estrutural Robot Structural Analysis. Como pioneira, a Autodesk vem atualizando seus produtos de forma acelerada de modo a se manter como referência também em relação a implementação do BIM, assim como é no CAD.

A Bentley também é uma desenvolvedora de *softwares* para a construção civil com foco em infraestrutura. É responsável pelos *softwares* Microstation (concorrente direto do AutoCAD), o OpenBuilding Designer (concorrente direto do Revit). além do OpenBridge Designer, que subdivide suas interfaces de trabalho para o OpenBridge Modeler (OBM), voltado para a modelação paramétrica de pontes e o RM Bridge, específico para cálculo estrutural de pontes.

O estudo desenvolvido por Serra et al. (2022) foi um importante ponto de partida para as análises posteriormente apresentadas no presente trabalho e agente decisivo na escolha dos *softwares* analisados. Uma vez que os autores propuseram a análise de fluxos de projetos pautados em troca de informações majoritariamente feita através de formatos de arquivo nativos, sugeridos pelas empresas citadas para seus próprios *softwares*. No entanto, a análise das vantagens e desvantagens dos fluxos estudados ficou restrita às empresas, impossibilitando a avaliação da troca de informações entre softwares de diferentes fornecedores.

Propõe-se, portanto, estudar o comportamento destes *softwares*, desta vez, em um fluxo pautado na troca de informações através de formatos abertos e não proprietários, mostrando como um arquivo .ifc gerado a partir da visualização de coordenação de um modelo de ponte produzido no Allplan Bridge 2024 é lido e interpretado por *softwares* independente da empresa responsável por eles.

Metodologia

Para o desenvolvimento do modelo BIM da ponte utilizou-se o Allplan Bridge versão 2024. Esse *software* era originalmente uma ferramenta do Allplan Engineering. Com o crescimento de suas funcionalidades, tornou-se um *software* independente, ambos os softwares pertencem ao Grupo Nemetschek. Apesar de ser uma ferramenta robusta e prática, não se classifica como um *software* BIM pois não possibilita importação ou/e exportação em formato de arquivo neutro. Apesar de não se caracterizar como um *software* BIM, o Allplan Bridge tem como fundamentação principal a modelagem paramétrica. Todos os elementos são criados através de parâmetros condicionados por linhas e pontos, formando elementos tridimensionais.

Para definição do projeto, foi utilizada uma ponte monolítica em concreto armado com duas longarinas, classe I-B (pista simples sem passeio) com largura total de 13,0 m e quatro vãos de 20,0 m cada, medidos nos eixos dos apoios. Os demais elementos da ponte foram pré-dimensionados conforme predefinições normativas da NBR 7187 (2021), NBR 15965 (2011) e ABNT NBR 6118 (2023). A Figura 1 mostra a seção transversal da superestrutura da ponte.

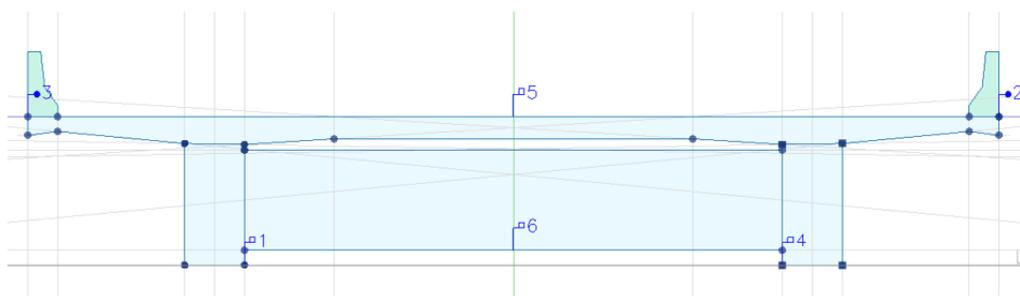


Figura 1 – Seção transversal da superestrutura da ponte.

Para a atribuição de materiais utilizou-se a plataforma de colaboração BIMPlus, um CDE desenvolvido pela Allplan para projetos elaborados a partir de modelos BIM de todas as disciplinas de construção, para todo o ciclo de vida. Neste caso, os materiais já vêm carregados com as informações intrínsecas a ele, que podem ser alteradas conforme necessidade, como por exemplo, a adequação as normas brasileiras. A importação de materiais predefinidos se deu pela rapidez e praticidade do software, uma vez que não é escopo do trabalho a avaliação da influência do material sobre a integridade estrutural.

Assim, três tipos de concretos foram selecionados a partir das especificações da variação das normas europeias (Eurocode) pelo Instituto Alemão de Normatização (DIN-EN): O concreto C20/25 (utilizado como material das defensas e estacas de fundação), o concreto C30/37 (utilizado como material da laje do tabuleiro, dos blocos de fundação, das lajes de transição e do encontro) e o concreto C35/45 (utilizado como material das longarinas, transversinas, travessa e pilares).

O modelo tridimensional da ponte desenvolvido no Allplan Bridge 2024 é mostrado na Figura 2.

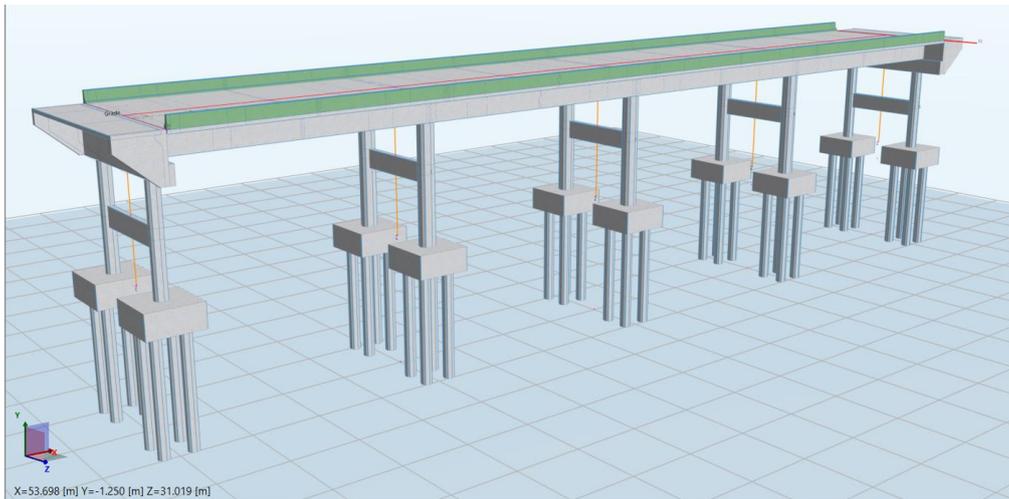


Figura 2 – Modelo tridimensional da ponte finalizado no Allplan Bridge 2024.

Para conferir semântica ao modelo, foram atribuídas entidades IFC para cada elemento da ponte de forma a representá-lo da forma mais correta possível, de acordo com a disponibilidade do Allplan Bridge 2024. É através desse processo que os elementos da ponte se tornam conceitualmente definidos, possibilitando que sejam transferidos para outros *softwares* através de arquivos neutros. Feito isso, é possível proceder a configuração de importação através do Allplan Engineering 2024, que, neste caso, trabalha como elo entre o *software* de modelagem e os demais *softwares* a serem analisados já que possibilita a exportação através do IFC. A Tabela 1 especifica as entidades IFC utilizadas.

Tabela 1 – Entidades IFC definidas para cada elemento da ponte.

ELEMENTOS ESTRUTURAIS	ENTIDADES IFC	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO
Bloco de Fundação	<i>IfcFooting - Pilecap</i>	Bloco_Fundação
Estacas	<i>IfcPile - Driven</i>	Estaca_cravada
Pilar	<i>IfcColumn</i>	Pilar_circular
Travessa	<i>IfcBeam - Piercap</i>	Travessa_intermed. / Travessa_encontro
Encontro	<i>IfcWall - SolidWall</i>	Cortina_encontro/Ala_encontro
Longarina	<i>IfcBeam - Girder Segment</i>	Longarina 1 / Longarina 2
Transversina	<i>IfcBeam</i>	Transversina
Laje	<i>IfcSlab - Floor</i>	Laje_tabuleiro
Laje de transição	<i>IfcSlab - Floor</i>	Laje_transição
Defensas	<i>IfcWall - Parapet</i>	Defensa 1 / Defesa 2

Após abrir o modelo no Allplan Engineering 2024 através do vínculo direto com o Allplan Bridge, é feita a configuração do IFC na versão IFC 2x3 2.0 para proceder a exportação, já que *software* de modelagem não contempla atualizações mais recentes do IFC na versão utilizada. Para isso, é necessário inicialmente atribuir o local de onde será erguida a construção, uma espécie de canteiro de obras. Essa atribuição é feita através da definição da entidade *IfcSite*, que, segundo a *BuindingSMART*, caracteriza um local ou área definida de um terreno no qual a construção, definida como *IfcProject*, será georeferenciada. (*BuindingSMART*, 2025b)

A partir dessas configurações o *software* permite a exportação através do formato IFC. Aqui cabe ressaltar a impossibilidade de definir o modelo semanticamente como uma ponte, já que nas opções de entidades apresentadas pela versão do *software* utilizada, mostradas na Figura 3, só é possível definir o projeto como *IfcBuilding*, não como *IfcBridge*. Essa informação é importante pois reflete a importância da atualização da ferramenta à versão mais recente do IFC, que contempla entidades específicas de pontes. Essa configuração equivocada do empreendimento pode influenciar na leitura do arquivo feita pelos *softwares* receptores, principalmente no caso dos *softwares* específicos de pontes.

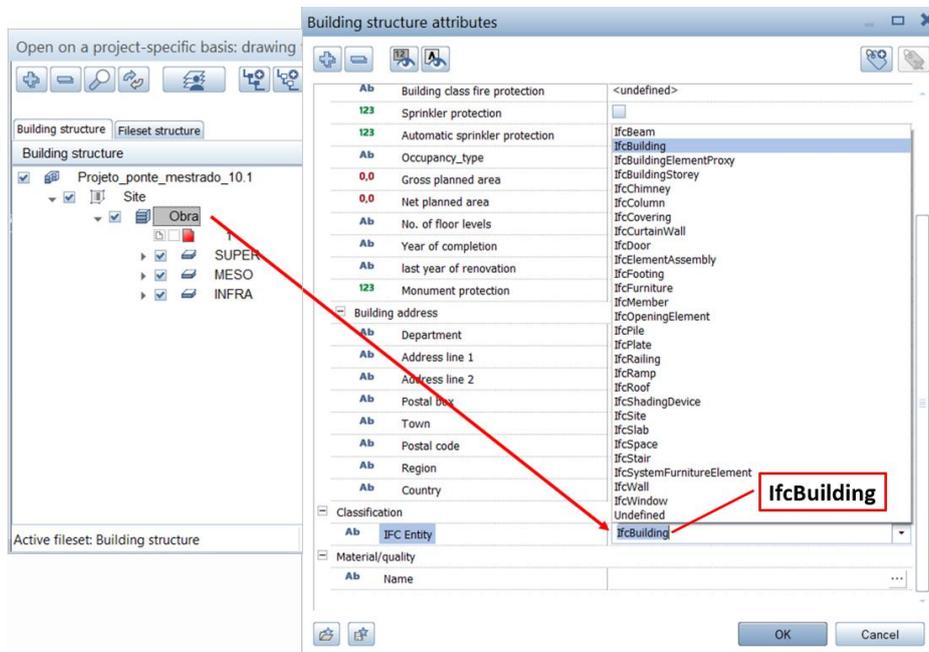


Figura 3 – Atribuição semântica ao projeto, ou seja, definição do tipo de obra.

Para assegurar a integridade do arquivo .ifc gerado, é necessário validá-lo. Para isso, duas formas de validação são utilizadas: A validação por visualizador de IFC e a validação por leitor de código IFC. A validação por visualizador de IFC é feita pelo visualizador ACCA usBIM.browser v.3.2.1, disponível de forma gratuita para alunos e professores através da plataforma digital da ACCA. Já a validação do código do arquivo é feita pelo validador da *BuildingSMART* (2024b) que varre todo o código do arquivo e identifica erros de sintaxe, esquema, regras normativas e práticas da indústria.

Na primeira forma de validação o resultado obtido foi satisfatório e de acordo com o esperado. Os elementos definidos no *software* de modelagem foram corretamente exportados, tanto em relação a geometria quanto em relação à semântica atribuída. Nota-se através da Figura 4 que o visualizador conseguiu reconhecer 10 elementos de viga, 10 elementos de coluna, 10 elementos de fundação, 40 estacas, 03 lajes e 04 elementos de parede, exatamente a mesma quantidade definida no Allplan Bridge 2024.

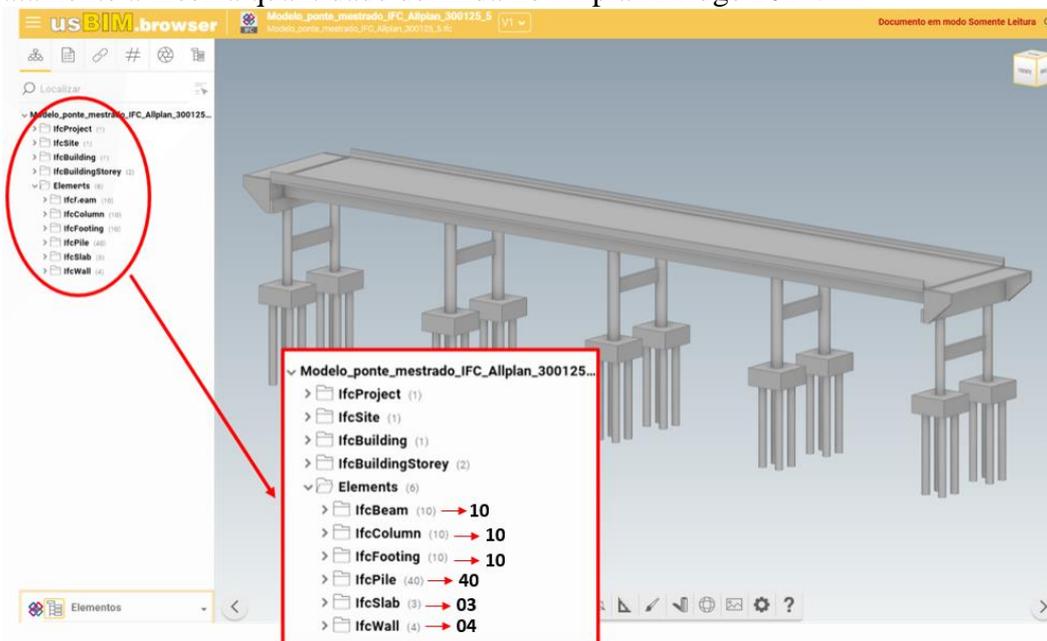


Figura 4 – Importação do modelo BIM no visualizador do IFC usBIM.browser v. 3.2.1.

O resultado da validação do código IFC é mostrado na Figura 5. Pode-se perceber através da imagem que nenhum erro foi identificado. Assim, a qualidade do arquivo e a confiabilidade das informações contidas nele são asseguradas. Desta forma, é possível prosseguir com a importação do arquivo pelos softwares a serem analisados.

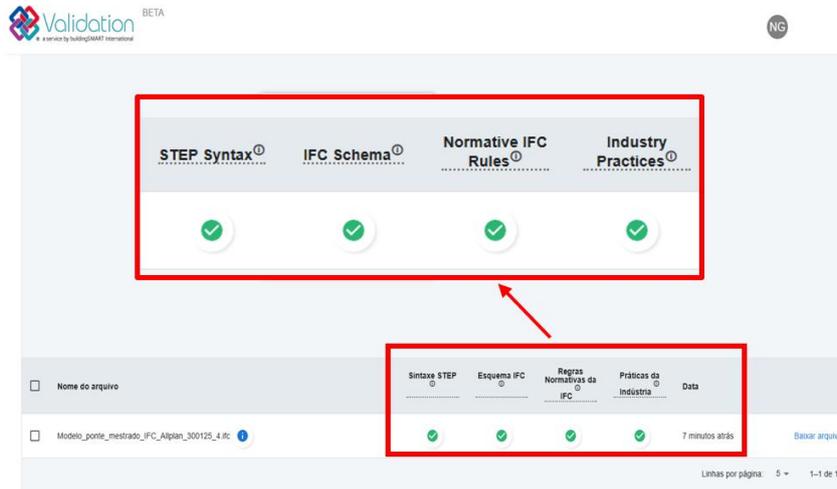


Figura 5 – Resultado da validação do arquivo .ifc pelo validador bSI Validation Service da BuildingSMART.

De posse do arquivo .ifc validado prossegue-se as análises de intercâmbio de informações através da importação pelos *softwares* receptores, conforme apresentado na Figura 6. Três dos quatro *softwares* definidos são de empresas distintas: CSIBridge versão 24, Autodesk Revit versão 2024 e o OpenBridge Designer versão 2023. O quarto trata-se do Scia Engineer versão 22.1, que, assim como os *softwares* utilizados para modelagem e exportação, é gerenciado pelo Grupo Nemetschek.

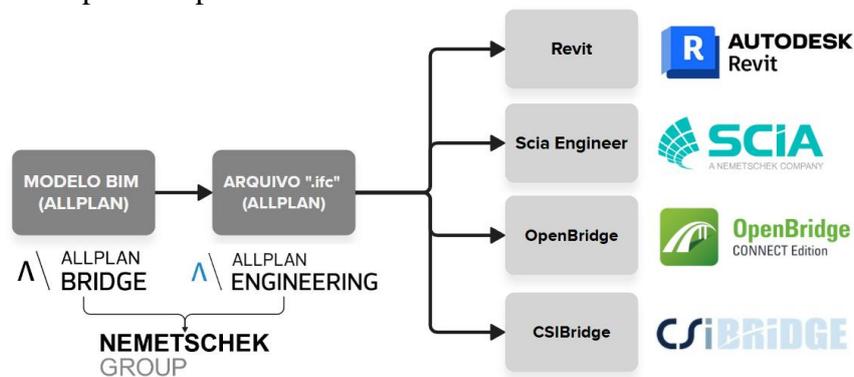


Figura 6 – Fluxo de desenvolvimento dos testes de importação.

Para que seja possível quantificar o número de parâmetros, entidades e elementos lidos, a organização da identificação das informações se deu através dos elementos da ponte, que foram analisados individualmente com base nos critérios apresentados na Tabela 2. Estes critérios serão a base das duas análises realizadas: Quantitativa e a qualitativa. A média entre os valores obtidos através delas fornecerá o Nível de Interoperabilidade.

Tabela 2 – Critérios de avaliação da importação do arquivo .ifc

ELEMENTO ESTRUTURAL DA PONTE	PARÂMETROS AVALIADOS
	Entidade IFC
	Semântica
	Descrição
	Geometria
	Material
	Propriedades do material
	Área da seção
	Comprimento
	Volume
	Peso
	Capacidade de carga

Na primeira análise foi atribuído para cada parâmetro um valor unitário de forma que, se o software foi capaz de traduzir a informação, recebe valor unitário, se não, recebe valor nulo, como exemplificado na Figura 7. Ao final, caso o software tenha sido capaz de ler todos os parâmetros, terá valor máximo igual a 9, que corresponde a 100% das informações.

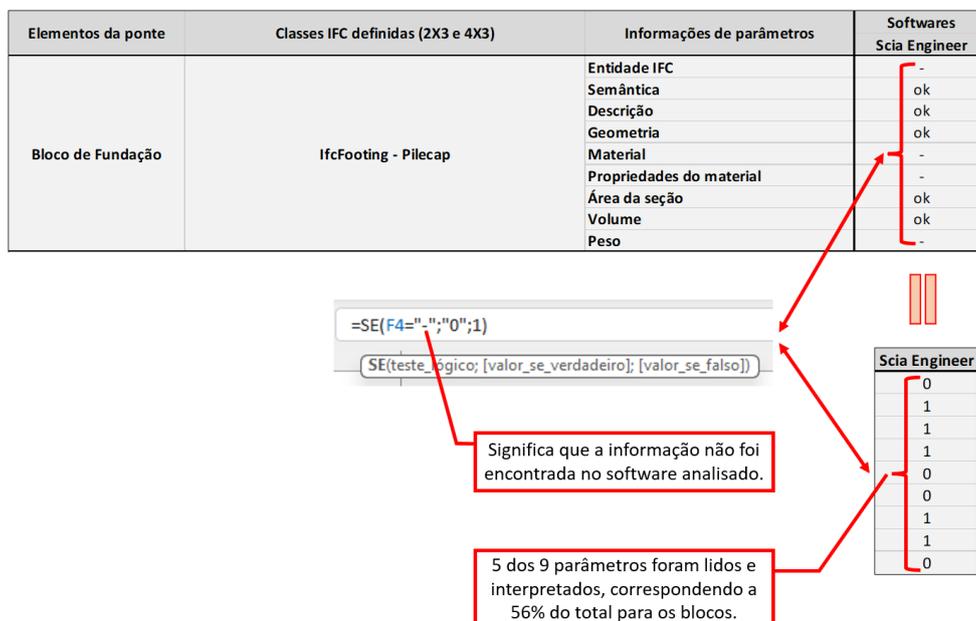


Figura 7 – Método utilizado para realização da análise quantitativa.

Além do número de informações lidas por cada *software*, é importante avaliar a qualidade do modelo gerado através da importação, de modo a ser possível gerar o modelo analítico a partir do modelo BIM. Desta forma foram atribuídos pesos de ponderação para cada parâmetro, definidos de acordo com a sua importância na realização de uma análise estrutural. Estes pesos estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Peso das informações lidas de acordo com a relevância na elaboração da análise estrutural.

Semântica	Informações gerais	Geometria	Materiais
Tipo predefinido	Nome Global ID	Sólido 3D informações da seção Posicionamento Associação c/ material	Nome do material Categoria Nome das propriedades Valores das propriedades Unidades
0,25	0,05	0,30	0,40

Resultados

A partir da metodologia apresentada, os resultados obtidos foram organizados em gráficos, mostrados nas Figuras 8, 9 e 10.

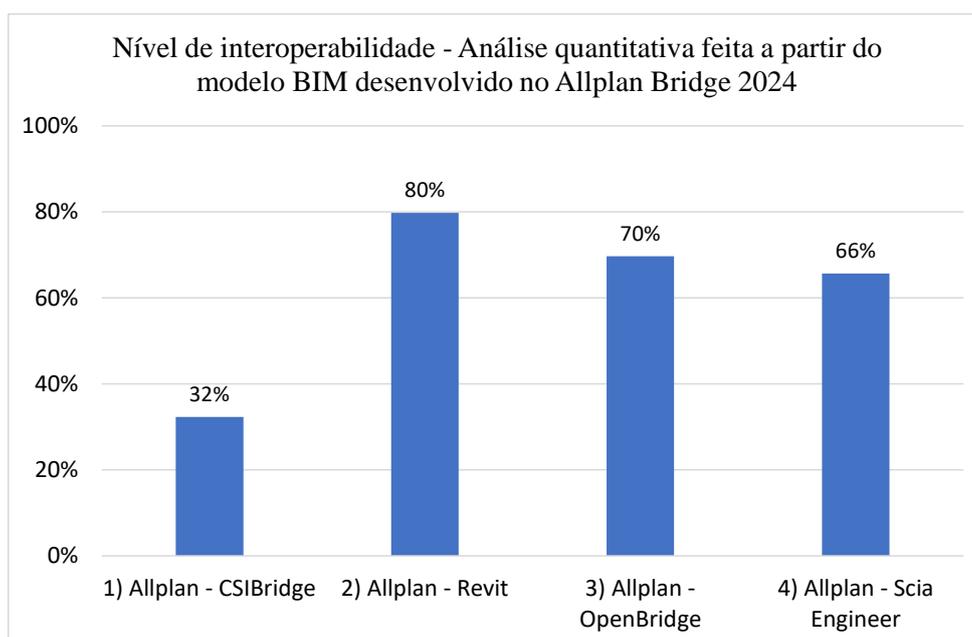


Figura 8 – Análise quantitativa.

Na análise quantitativa, todos os *softwares* apresentaram baixas variações nos percentuais de informações importadas em função dos elementos da ponte. O maior percentual observado na Figura 8 corresponde ao vínculo entre o Allplan Bridge 2024 e o Revit 2024, com 80% das informações importadas, seguido do OpenBridge Design 2023, com percentual correspondente a 70%. O CSIBridge obteve o menor percentual dentre os *softwares* analisados. Pode-se notar que softwares específicos de análise e dimensionamento, (CSIBridge e Scia Engineer) obtiveram menores índices de informações importadas, enquanto softwares que possuem capacidade de desenvolver um modelo BIM conseguiram ler mais informações.

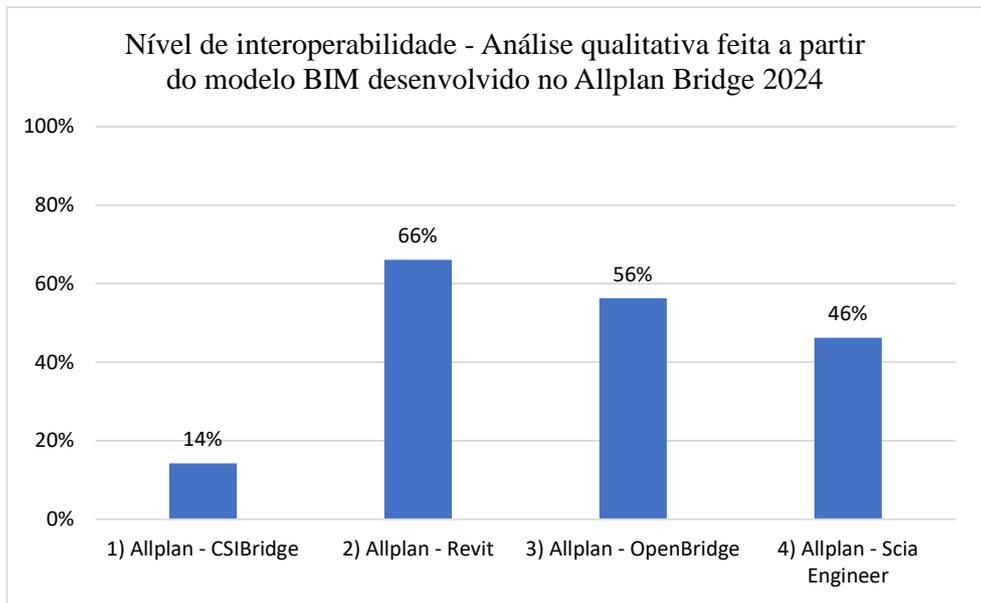


Figura 9 – Análise qualitativa.

É interessante notar que a mesma ordem de resultados foi obtida na segunda análise, feita com base na relevância das informações. Novamente, percebe-se através da Figura 9 que o fluxo entre Allplan Bridge e o Revit foi o mais eficiente, seguido do OpenBridge, Scia Engineer e por último, o CSIBridge. Nota-se que os softwares que mais fariam uso das informações referentes à análise estrutural foram os que menos conseguiram ler e interpretar informações relevantes.

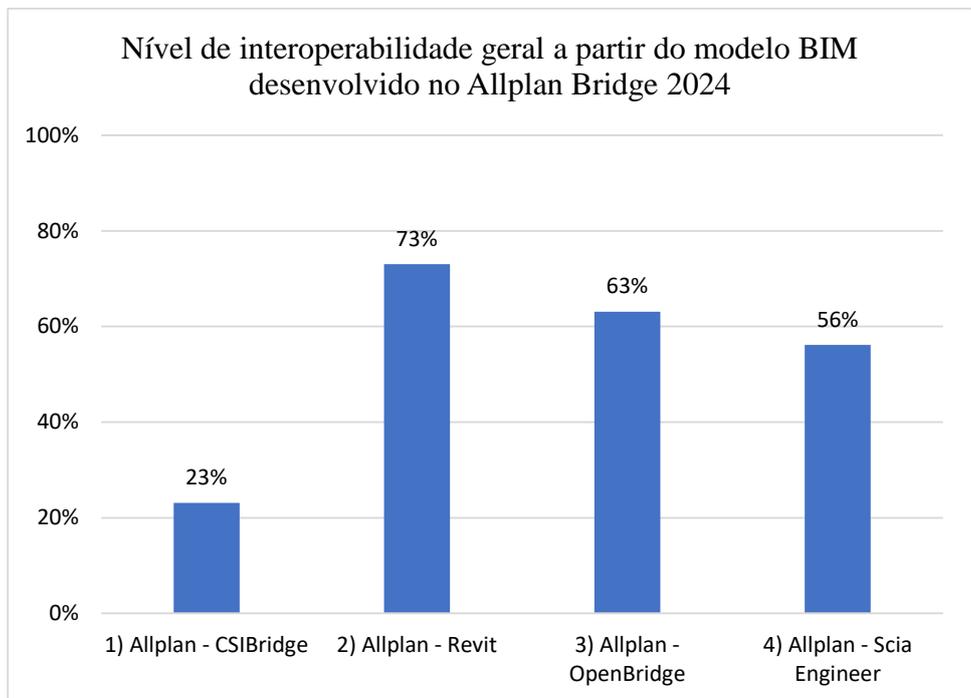


Figura 10 – Nível de Interoperabilidade dos softwares analisados.

Os níveis de interoperabilidade mostrados na Figura 10 retrata a tendência observada nas análises realizadas em que softwares de modelagem BIM se mostram mais capazes de trabalhar em um fluxo interoperável. Entretanto, fazendo uma média entre os resultados obtidos por cada software, o valor obtido é de cerca de 53,7%. Ou seja, pouco mais das informações contidas no arquivo .ifc foram repassadas,

demonstrando que ainda há muito o que se desenvolver para que seja efetivo o emprego do BIM em projetos de pontes.

Conclusões

A partir do exposto ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, foram obtidas as seguintes conclusões:

- São notórias as diferenças na evolução do BIM em empreendimentos verticais, como edifícios e de infraestrutura, como pontes, principalmente em relação à adaptação das ferramentas de projeto;
- O desenvolvimento dos softwares estruturais em relação à robustez e qualidade da análise estrutural não é acompanhado pelo desenvolvimento tecnológico voltado ao BIM;
- Softwares específicos de análise e dimensionamento apresentaram nível de interoperabilidade inferior aos demais;
- A realidade atual da inserção do BIM neste tipo de projeto ainda não permite a utilização de um fluxo interoperável através do IFC;
- Outro aspecto importante trata da dificuldade em adquirir o domínio das ferramentas analisadas, todos estes softwares são robustos, complexos e exigem grande disponibilidade de tempo e dedicação, que não é compensado com a possibilidade de utilizar um modelo único em todas as disciplinas de projeto;

Agradecimentos

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) que por meio do Projeto 291 - TED 703/2020 desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (UFV) concedeu incentivo financeiro, viabilizando a realização desta pesquisa.

Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965: Pontes de concreto armado e protendido – Projeto de estruturas. Rio de Janeiro, 2011.
- ALVES, J. P. C. Interoperabilidade BIM em projeto de estruturas. 2018. 92 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- ANDRADE, M. L.; RUSCHEL, R. C. BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Anais. SBQP2009, nov. 2009, Escola de Engenharia de São Carlos, campus 1, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- BERNSTEIN, H. M. *et al.* The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets. Bedford: McGraw Hill Construction, 2014.
- BIRKEMO, A. S.; HJORTLAND, S. C.; SAMARAKOON, M. S. M. K. Improvements for the workflow interoperability between BIM and FEM tools. *WIT Transactions on the Built Environment*, v. 192, p. 317-327, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2495/BIM190271>.
- BRADLEY, A. *et al.* BIM for infrastructure: an overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, Elsevier B.V., 1 nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019>.
- BRITO, D. M. Fatores críticos de sucesso para implantação de Building Information Modelling (BIM) por organizações públicas. 2019. 193 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.
- BUILDINGSMART International. Industry Foundation Classes (IFC) – Latest Version. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/> . Acesso em: 24 nov. 2024.
- BUILDINGSMART International. IFC Validations. Disponível em: <https://validate.buildingsmart.org/dashboard>. Acesso em: 25 out. 2024.
- BUILDINGSMART International. IFC Certification Participants. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/services/certification/ifc-certification-participants/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

- BUILDINGSMART International. Industry Foundation Classes (IFC) – Alphabetical listings - Entities. Disponível em: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/annex-b1.html. Acesso em: 12 jan. 2025.
- CORRÊA, C. R. S. de M. S. *et al.* BIM para infraestruturas rodoviárias: Uma revisão sistemática. 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/189/184>. Acesso em: 12 jul. 2023.
- DLUBAL, D. Examinando o formato de análise estrutural (SAF) para adequação para suporte BIM em planejamento estrutural. 2021. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Technische Universität München, Monique.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16739:2023 – Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Geneva: ISO, 2023.
- SACKS, R.; GUREVICH, U.; SHRESTHA, P. A review of building information modeling protocols, guides and standards for large construction clients. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 21, p. 479-503, 2016. Disponível em: <https://www.itcon.org/paper/2016/29>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- SERRA, P. *et al.* Implementação da metodologia BIM no projeto de obras de arte. 10º Congresso Rodoferroviário Português, Lisboa, Portugal, 2022.
- SINGH, T.; MAHMOODIAN, M.; WANG, S. Enhancing open BIM interoperability: automated generation of a structural model from an architectural model. *Buildings*, v. 14, p. 2475, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14082475>.
- STRIEDER, H. L.; SCHREINERT, G. G. Metodologia BIM em obras de infraestrutura: uma revisão sistemática. 24º Congresso Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), 47º Reunião Anual de Pavimentação (RAPv), Bento Gonçalves, RS, ago. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/362752837>. Acesso em: 25 jun. 2023.