XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Possibilidades e potenciais do BIM na gestão de construção e na operação de empreendimentos ferroviários

Possibilities and potentials of BIM in the construction management and operation of railway projects

Guilherme Borges de Lima
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | guilherme_borges@usp.br
Sérgio Leal Ferreira
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | sergio.leal@usp.br
Diego Pereira Peres
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | pdiegoperes@usp.br

Resumo

O presente artigo tem como objetivo apresentar um mapeamento sobre as possibilidades e potenciais de aplicação da metodologia BIM na gestão de ativos ferroviários, com ênfase nas fases de construção, operação e manutenção. Tal análise foi realizada a partir do levantamento de indicadores e grupos de informação (IGI) associados à gestão das fases de construção, operação e manutenção. Posteriormente, efetuou-se a classificação de tais IGI – a partir de processo e critérios elaborados pelos autores - conforme potenciais e recursos computacionais disponíveis para realizar a integração de tais dados com o modelo BIM.

Palavras-chave: BIM. Ferrovias. Construção. Operação. Manutenção

Abstract

This paper aims to present a mapping of the possibilities and potentials for applying BIM methodology to the management of railway assets, with emphasis on the phases of construction, operation and maintenance. This analysis was performed from the survey of indicators and information groups (IGI) associated with the management of the phases of construction, operation, and maintenance. Subsequently, such IGI were classified - based on a process and criteria developed by the authors - according to the potentials and computational resources available to perform the integration of such data with the BIM model.

Keywords: BIM. Railways. Construction. Operation. Maintenance

LIMA , G. B. de; FERREIRA, S. L.; PERES, D. P. Possibilidades e potenciais do BIM na gestão de construção e na operação de empreendimentos ferroviários. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2233

INTRODUÇÃO

Uma gestão eficaz da etapa de construção passa obrigatoriamente pelo monitoramento de variáveis e informações associadas ao escopo, custos, planejamento, riscos, recursos, qualidade e segurança do trabalho [9]. Do mesmo modo, na fase de operação de um empreendimento ferroviário, os indicadores de performance são fundamentais para gestão operacional, podendo ser financeiros, técnicos e de saúde e segurança. O monitoramento de tais indicadores pode proporcionar redução de custos e aumento de eficiência operacional [10].

A proposta é que os IGI sejam obtidos a partir de referências sólidas e na sequência e classificados conforme a viabilidade e potencial de inserção destes em modelos BIM.

FUNDAMENTAÇÃO

Ao longo da fundamentação serão apresentadas informações que ressaltam a relevância da aplicação do BIM no segmento ferroviário, tanto pelo potencial de expansão da malha existente e os respectivos desafios construtivos/operacionais, quanto referências a estudos que relatam os benefícios associados a utilização da metodologia.

FERROVIAS NO BRASIL

O Brasil é um país de características continentais e, por esse motivo, o modal ferroviário é um recurso importante no funcionamento de sua cadeia logística. Prova disso é que cerca de 92% dos minérios chegam aos portos brasileiros via transporte ferroviário. Além disso, o modal é responsável pelo escoamento de 46% dos granéis sólidos agrícolas exportados e 42% da cana de açúcar [1].

Apesar da relevância atual, quando comparado a outros países de características territoriais semelhantes, observa-se a existência de um potencial de expansão considerável. Tal constatação pode ser realizada ao se observar a densidade de malha ferroviária brasileira, que é calculada a partir da correlação entre extensão das linhas ferroviárias e área territorial [1].

A Figura 1 apresenta a densidade ferroviária de países com dimensões territoriais elevadas. É possível observar que o Brasil tem baixa relação Km ferrovias/ Área, especialmente quando comparado a países desenvolvidos e com dimensões continentais, como Estados Unidos e China.

Figura 1: Densidade das malhas Ferroviárias

	Área (milhões km²)	Ferrovia (Mil Km)	Ferrovias/Área [km /1.000 km²]
EUA	9,83	293,56	29,85
Índia	3,29	68,52	20,85
China	9,6	131	13,65
África do sul	1,22	20,98	17,21
Argentina	2,78	36,91	13,28
México	1,96	20,82	10,60
Canadá	9,98	77,93	7,81
Rússia	17,1	87,15	5,10
Austrália	7,74	33,34	4,31
Brasil	**8,52**	**30,75**	**3,61**

Fonte: Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários [1]

Desse modo é possível observar o potencial de incremento de uso do modal ferroviário no Brasil, remetendo a expansão da malha existente, além da conservação dos ramais existentes.

Tanto a construção, quanto a operação de ferrovias possuem complexidades executivas e gerenciais. Sob a ótica de construção, existem diversos desafios inerentes a esse tipo de empreendimento como, por exemplo, os relacionados à definição de traçado. As vias férreas permitem uma inclinação entre 1,5% e 3%, o que usualmente remete à necessidade de execução de túneis, estabilização de taludes ou trincheiras, entre outras grandes obras. Tais execuções necessitam de um planejamento prévio cuidadoso para que a execução possa ocorrer de maneira correta, segura, sustentável etc. [2].

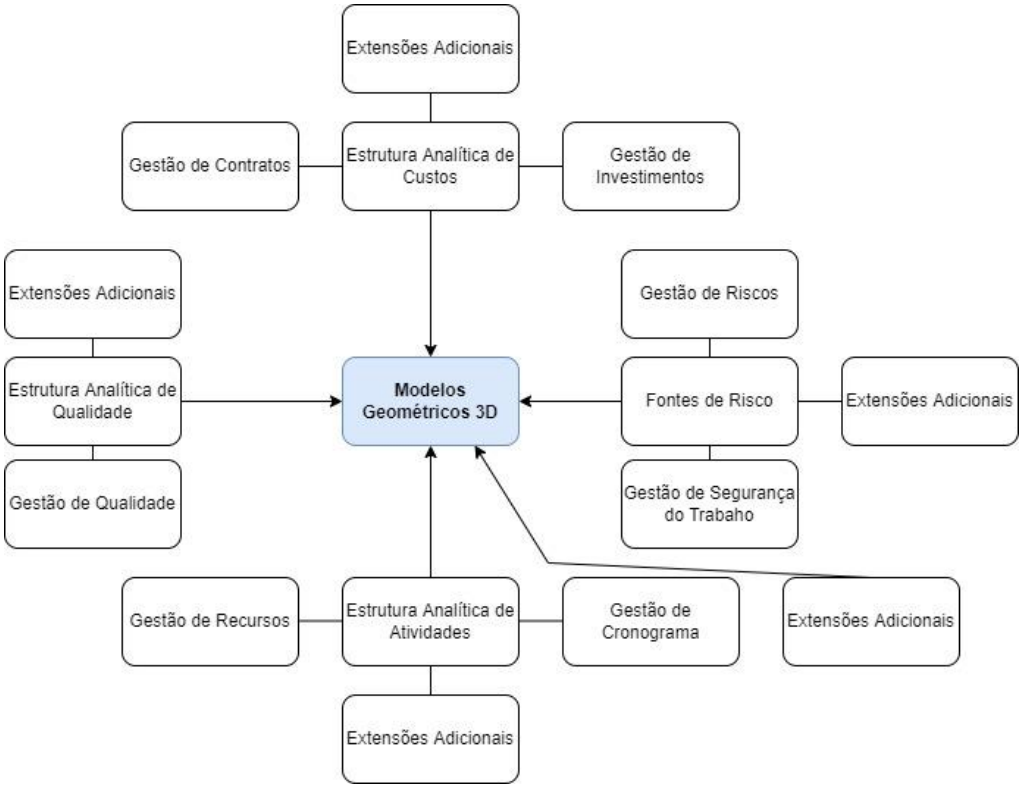
A fase de operação de ferrovias exige que sejam realizadas manutenções de alto nível, de forma que atendam requisitos para o transporte seguro e eficaz. Atividades que, além da complexidade técnica, requerem níveis consideráveis de investimento. Em 2018, somente nas ferrovias da União Europeia (EU27) estima-se que foram aplicados 20,6 bilhões de euros em ações de manutenção [3].

POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DO BIM EM FERROVIAS

Durante a fase de construção, pesquisas relatam evidências de que a aplicação metódica de ferramentas BIM é capaz de promover maior eficiência e qualidade em empreendimentos de infraestrutura como, por exemplo, na verificação de interferências em pontes, utilização combinada de modelos paramétricos e imagens aéreas para monitoramento de construção, uso integrado de modelos de custo e prazo para gestão da construção de empreendimentos, entre outros [4] [5].

O modelo BIM além de atuar como uma referência geométrica parametrizável, é capaz de ser utilizado como um concentrador (*hub*) informacional, agregando dados não-geométricos associados a disciplinas de gestão da construção do empreendimento. O conceito de multi-dimensões (nD) preconiza que, de forma prática, é possível agregar informações relacionadas a Planejamento, Gestão de Recursos, Gestão de Custos e Saúde/Segurança do Trabalho [6]. A Figura 2 apresenta diversos grupos de informações possíveis de serem incorporados ao modelo, como Prazo, Custo, Riscos e Qualidade.

Figura 2: Estrutura de sistema de gestão de construção



Fonte: Adaptado de DING, L. et al. [6]

Estudos recentes reforçam a tendência de utilização do BIM nas fases de Construção e Operação de ferrovias. Ao avaliar a revisão realizada por [4], observa-se que maioria das publicações referentes à aplicação de BIM no segmento de Infraestrutura está orientada às fases de Construção e Operação. Além disso, estudos caracterizam o BIM como um agente alavancador do gerenciamento integrado de redes de ativos de infraestrutura de transportes, como por exemplo, ferrovias. Tal gestão é possível a partir do uso de banco de dados de informações integradas permitindo a gestão dos ativos de forma mais eficaz, possibilitando assim melhores tomadas de decisão do agente responsável pela operação e manutenção de determinada ferrovia [7].

O Quadro 1 adaptado de um estudo realizado pela *Building Smart IFC Room* sintetiza as possibilidades de utilização do BIM no ciclo de vida de ativos ferroviários [8], mostrando uma ampla gama de aplicações durante todo o ciclo de vida do empreendimento.

Quadro 1: Usos dos BIM em Ferrovias

Fase	Usos do BIM em Ferrovias
Estudos Iniciais	Estudos de Viabilidade Modelagem de Condições Existentes Definição e otimização de rotas
Projetos	Engenharia de projeto e modelagem Consultas e aceitabilidade de projeto Licenciamento de Projeto
Construção	Planejamento e Simulação da Construção Acompanhamento de Progresso Aferição de execução de trilhos Sistemas de Controle de Máquinas
Operação a Manutenção	Handover de documentação da ferrovia Maior aceitabilidade pela equipe de Operação Modelagem para manutenção e operação Treinamento visual Planejamento para desastres e emergências

Fonte: Adaptado de *Building Smart IFC Rail Project* [8]

INDICADORES E GRUPOS DE INFORMAÇÕES (IGI) A SEREM MONITORADOS

Como primeiro passo do estudo em questão, realizou-se um levantamento com o objetivo de buscar referências sobre os principais Indicadores e Grupos de Informações (IGI) utilizados para gestão da construção, operação e manutenção de empreendimentos ferroviários. Considera-se como Grupos de Informações o agrupamento categorizado de dados, como por exemplo as informações referentes ao acompanhamento físico da construção de uma ferrovia (Datas de Início, Término, Recursos, Relações entre atividades, ...).

A proposta é que os IGI sejam obtidos a partir de referências sólidas e na sequência e classificados conforme a viabilidade e potencial de inserção destes em modelos BIM.

NA ETAPA DE CONSTRUÇÃO

A etapa de construção de uma ferrovia possui alta complexidade gerencial e técnica. Desse modo, as equipes envolvidas nessa fase do empreendimento devem estar orientadas a executar as premissas preconizadas em projeto de modo que atendam aos requisitos de escopo, orçamento e cronograma, em níveis aceitáveis de risco, qualidade e segurança [11].

Com objetivo de definir diretrizes e métricas de acompanhamento da construção de projetos de infraestrutura ferroviária, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) estabeleceu um Manual de Acompanhamento da Implantação de Projetos de Infraestrutura Ferroviária. O Quadro 2 apresenta os oito cadernos (categorias) que são compostos de informações fundamentais para auxiliar na gestão da etapa construção de uma ferrovia.

Quadro 2: Cadernos do Manual de Acompanhamento da Implantação de Projetos de Infraestrutura Ferroviária

CADERNOS	Tópicos
Caderno 1. Informações Gerenciais	Existência de incoerências óbvias entre as informações apresentadas no documento
Caderno 2. Cronograma físico	Aderência do cronograma físico
Caderno 3. Cronograma financeiro	Realização de desembolso financeiro acumulado global inferior ao esperado
Caderno 4. Quadro resumo	Existência de incoerências óbvias entre as informações apresentadas no documento
Caderno 5. Controle de qualidade	Indicação clara de problema no controle de qualidade do projeto
Caderno 6. Diagrama unifilares	Existência de incoerências óbvias entre as informações apresentadas no documento
Caderno 7. Licenciamento ambiental	Indicação de problemas ou irregularidades com relação ao licenciammento ambiental
Caderno 8. Informações complementares	Qualidade das informações prestadas
	Avaliação dos problemas adicionais, relatados pela concessionária, que mereçam acompanhamento ou providência da Agência
Outras questões	Existência de incoerências óbvias entre as informações apresentadas no documento
	Acerca das recomendações anteriores da ANTT
	Outras análises (apenas quando e se houver)

Fonte: ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) [12]

Conforme pode ser observado no Manual de Acompanhamento da Implantação de Projetos de Infraestrutura Ferroviária [12] que está disponível no *website* da ANTT, para cada caderno há uma especificação das informações e indicadores a serem apresentados, de modo que estes promovam uma visão multidisciplinar sua etapa de construção como um todo.

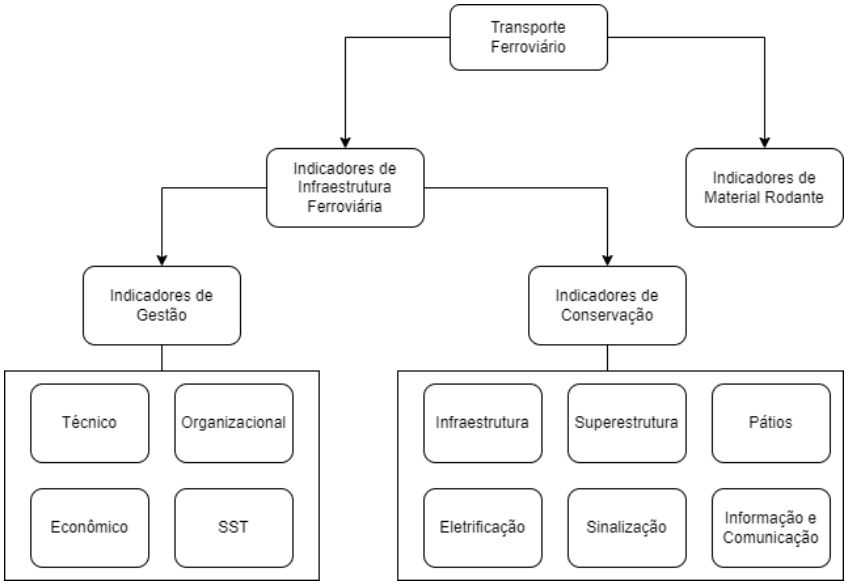
NA ETAPA DE OPERAÇÃO & MANUTENÇÃO

A fase que compreende o período de operação de uma ferrovia está intimamente ligada às necessidades de manutenção, de forma que sejam mantidos os níveis de segurança e eficiência operacional. Tendo em vista que o transporte ferroviário tem como características uma longa vida útil operacional e volumes expressivos de investimento, é necessário que haja uma estratégia de manutenção sustentável e de longo prazo [13][14].

A fim de promover uma diretriz para tais níveis, buscaram-se indicadores que sirvam de referência aos gestores na definição de estratégias para manutenção de determinada ferrovia. Na ausência diretrizes definidas pela ANTT, buscou-se referências em estudos internacionais sobre o tema.

A Figura 3 apresenta um esquema visual da estrutura de indicadores seguindo critérios preconizados pela EN 15341 (*Maintenance Key Performance Indicators*) e agrupados em duas categorias: Gestão e Condições Operacionais [10] [11]:

Figura 3: Estrutura de indicadores de infraestrutura ferroviária



Fonte: Adaptado de Performance Indicators of Railway Infrastructure [10]

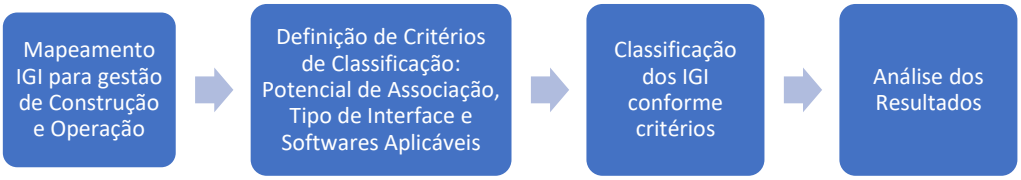
Conforme pode ser observado de forma detalhada em Performance Indicators off *Railway Infrastruc*ture [10], os indicadores de gestão foram definidos de modo que possibilitassem aferir o desempenho da ferrovia como um todo, sendo úteis, principalmente, em momentos de tomada de decisão durante a fase operacional do ativo. Tais indicadores estão agrupados nas seguintes categorias: Técnico, Organizacional, Financeiro e Saúde & Segurança.

Em relação aos indicadores de condição de infraestrutura, estes estão diretamente relacionados aos dados obtidos a partir de sensores e diversas categorias de inspeções presenciais.

METODOLOGIA

Com base nos grupos de IGI de construção, operação e manutenção apresentados anteriormente, procurou-se avaliar o potencial de associação dessas informações aos modelos BIM e os meios para que tal integração de dados ocorra. A Figura 4 apresenta o fluxo de trabalho realizado pelos autores, ilustrando as etapas que foram percorridas durante a elaboração do presente artigo.

Figura 4: Macrofluxo de trabalho do presente artigo



Fonte: o autor.

Para definição do Potencial de Associação, foi estabelecido pelos autores três níveis: Alto, Médio e Baixo. Tais níveis estão relacionados a viabilidade de integração das informações ao modelo e a existência de meios tecnológicos disponíveis para

assimilação de tais dados. O Quadro 3 apresenta os critérios que foram estabelecidos para cada um desses níveis.

Quadro 3: Critérios de potencial de associação de IGI ao modelo BIM

Potencial	Informações a serem relacionadas ao modelo		Meio para integração de dados
	Tipo	Exemplo	
Alto	Informação diretamente associada a elementos de projeto	Datas de Início/Término das Atividades de Construção	Ferramentas de Mercado
Médio	Informação indiretamente associada a elementos de projeto	Mapeamento de Riscos Construtivos	Ferramentas de Mercado e/ou Desenvolvimento Computacional
Baixo	Informação sem correlação com elementos de projeto	Documentação de licenciamento ambiental	Não existente

Fonte: o autor.

Após a realização da classificação do potencial, com base na prática e experiência dos autores, foram correlacionados os tipos de interface entre o modelo BIM e os dados associadas aos IGI, sendo previstas as seguintes interfaces:

- Extração de Quantitativos
- Modelo 3D
- Planejamento 4D
- Propriedades dos Elementos
- Vínculo de Informações ao modelo

Por fim, foram definidas as relações com softwares ou recursos computacionais atualmente disponíveis, tendo sido pré-definidos os que seguem abaixo:

- Software GIS+BIM
- Software com recursos 4D
- Software de Coordenação
- Software de Inspeção de Campo
- Software de Modelagem
- Plataforma de Desenvolvimento

Entende-se como Plataforma de Desenvolvimento, um ambiente computacional que permite a realização de desenvolvimento próprio e personalizado, de forma que permita a integração de dados provenientes de fontes diversas com o modelo BIM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando como referência os IGI relacionados no Manual de Acompanhamento da Implantação de Projetos de Infraestrutura Ferroviária e conforme critérios listados acima, foi elaborada a seguinte a matriz representada no Quadro 4. Dos 47 itens previstos no Manual, 22 – ou seja, 47% - foram classificados com baixo potencial de associação de informações, sendo estes não considerados para análise no presente artigo.

Quadro 4: Classificação dos IGI de Construção

Categoria	Indicador / Grupo de Informações	Potencial da Informação estar associada ao modelo	Tipo de interface com o modelo ou recursos BIM	Softwares ou recursos aplicáveis
Informações Gerenciais	Lotes de obra;	Alta	Propriedade dos Elementos	Software de Modelagem Software de Coordenação
Informações Gerenciais	Extensão por lote e global;	Alta	Extração de Quantitativos	Software de Modelagem Software de Coordenação
Informações Gerenciais	Percentual de desapropriação / imissão de posse (global e por lote);	Médio	Planejamento 4D	Software com recursos 4D
Informações Gerenciais	Percentual de avanço físico (global e por lote; total, superestrutura, infraestrutura e OAEs);	Alta	Planejamento 4D	Software com recursos 4D
Informações Gerenciais	Data de início (global e por lote; efetiva ou prevista com indicação); Prazo de conclusão (global e por lote; efetiva ou prevista com indicação).	Alta	Planejamento 4D	Software com recursos 4D
Informações Gerenciais	Quadro resumo de superestrutura implantada;	Alta	Planejamento 4D	Software com recursos 4D
Informações Gerenciais	Eventuais pontos de atenção identificados, que podem impactar a execução do projeto em termos de escopo, qualidade, prazo, custo ou outro aspecto significativo.	Médio	Vínculo de Informações ao modelo	Software de Coordenação
Cronograma Físico	Cronograma físico consolidado do empreendimento;	Alta	Planejamento 4D	Software com recursos 4D
Cronograma Físico	Cronograma físico por lote de obra (se houver);	Alta	Planejamento 4D	Software com recursos 4D
Cronograma Físico	Acompanhamento do caminho crítico (apenas nos casos previstos neste manual).	Médio	Planejamento 4D	Software com recursos 4D
Quadro Resumo de Ativos Ferroviários	OAC (Lote, Identificação (nome), Localização (Estaca e Km operacional), Tipo (Sigla e Dimensões), Comprimento, Status de execução)	Alta	Extração de Quantitativos	Software de Modelagem Software de Coordenação
Quadro Resumo de Ativos Ferroviários	OAE/PI/PF (Lote, Tipo (OAE ferroviária, OAE rodoviária, PI, PS, PF), Nome, Localização (Est./km inicial e final), Comprimento, Status (Percentual de execução);)	Alta	Extração de Quantitativos	Software de Modelagem Software de Coordenação
Quadro Resumo de Ativos Ferroviários	PN (Lote, Localização, Tipo (definitiva, provisória, clandestina), Status de execução;)	Alta	Extração de Quantitativos	Software de Modelagem Software de Coordenação

Fonte: o autor

Quadro 4 (Continuação) - Classificação dos IGI de Construção

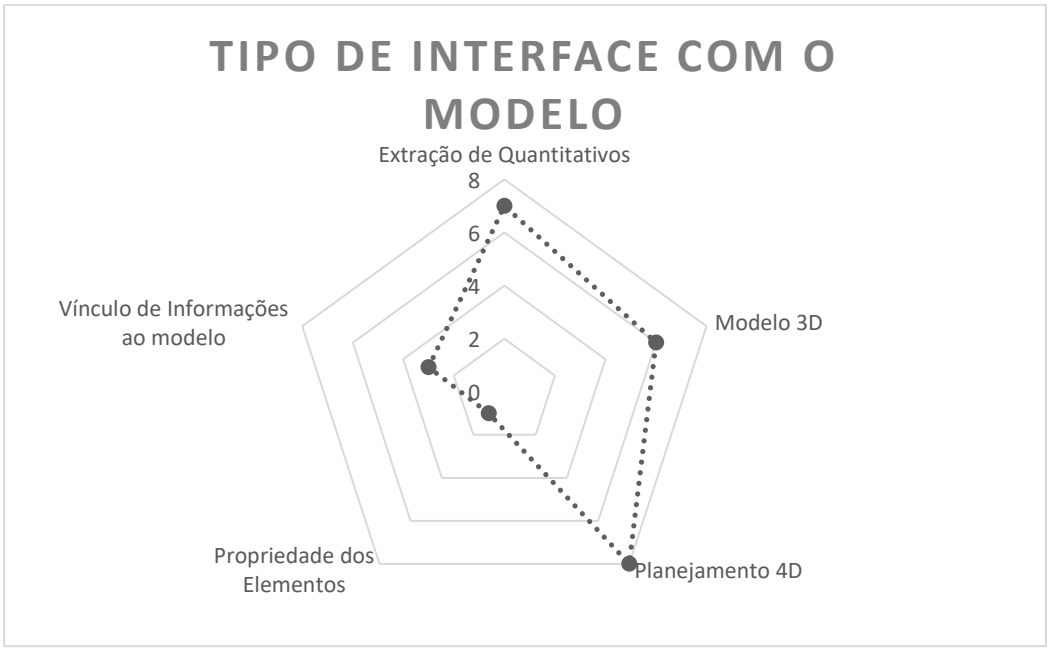
Categoria	Indicador / Grupo de Informações	Potencial da Informação estar associada ao modelo	Tipo de interface com o modelo ou recursos BIM	Softwares ou recursos aplicáveis
Quadro Resumo de Ativos Ferroviários	Superestrutura Ferroviária (Bitola, Perfil de Trilho, Tipo de Solda, Tipo de Fixação, Palmilhas, Placas de Apoio, Tipo de Dormente, Taxa de dormentação, Largura de ombro de lastro, Altura de lastro, Altura de sublastro, Vedação da faixa de domínio, Largura mínima da plataforma, Tipo de tala de junção, Rampa máxima (sentido importação e exportação), Raio mínimo;)	Alta	Extração de Quantitativos	Software de Modelagem Software de Coordenação
Quadro Resumo de Ativos Ferroviários	AMV (Lote, Nº AMV, Localização, Características (Bitola, Perfil de trilho, Abertura, Dormente, Fabricante, Tipo de chave, Status de execução;)	Alta	Extração de Quantitativos	Software de Modelagem Software de Coordenação
Quadro Resumo de Ativos Ferroviários	Pátios (Lote, Localização (Estaca, km e coordenadas de início e fim do pátio), Características (Extensão, quantidade de linhas, quantidade de AMVs, entrevia), Superestrutura, Status de execução;)	Alta	Extração de Quantitativos	Software de Modelagem Software de Coordenação
Controle de Qualidade	Relatório Fotográfico	Médio	Vínculo de Informações ao modelo	Software de Inspeção de Campo
Diagramas Unifilares	Infraestrutura: Terraplanagem e Serviços de drenagem superficial e profunda	Alta	Modelo 3D	Software de Modelagem Software de Coordenação
Diagramas Unifilares	Superestrutura : Montagem de Grade, Soldagem/alívio de tensões e Correção Geométrica	Alta	Modelo 3D	Software de Modelagem Software de Coordenação
Diagramas Unifilares	Obras de Arte Especial	Alta	Modelo 3D	Software de Modelagem Software de Coordenação
Diagramas Unifilares	Complementos: Proteção superficial dos taludes e Vedação da Faixa de Domínio	Alta	Modelo 3D	Software de Modelagem Software de Coordenação
Informações Complementares	Ficha técnica completa da obra; Mapa de localização;	Alta	Modelo 3D	Software de Coordenação
Informações Complementares	Marcos quilométricos, com diferenciação dos trechos em curva e tangente;	Alta	Modelo 3D	Software GIS+BIM
Informações Complementares	Lista com a localização e breve descrição das atividades de todos os canteiros da obra;	Médio	Vínculo de Informações ao modelo	Software GIS+BIM
Informações Complementares	Descritivo dos principais serviços que compõe cada uma das etapas-macro consideradas no cronograma físico;	Médio	Planejamento 4D	Software com recursos 4D

Fonte: o autor

Avaliando o Quadro 4, observa-se que 76% dos IGI possuem alto potencial de associação ao modelo, mostrando que grande parte desses dados possuem relação direta com os elementos modelados, além de existirem softwares de mercado capazes de realizar tal interface.

A Figura 5 apresenta o tipo de interface que os IGI possuem com o modelo, onde é possível observar que os principais meios para a realizar a integração na etapa de Construção são: Planejamento 4D, Extração de Quantitativos e o próprio modelo 3D.

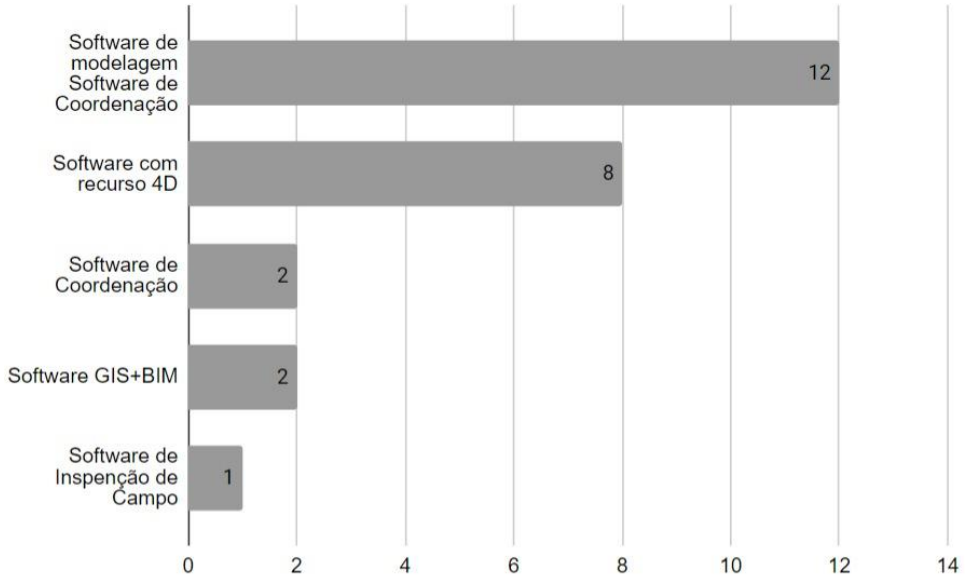
Figura 5: Tipo de Interface com o modelo - Construção



Fonte: o autor

A Figura 6 tem como objetivo contabilizar o número de vezes que cada tipo de software foi apontado como capaz de realizar integração entre IGI e modelo. É possível observar que os softwares de Modelagem, Coordenação e com Recursos 4D possuem potencial para atender grande parte das integrações das informações com o modelo BIM.

Figura 6: Tipos de software - Construção



Fonte: o autor

Seguindo a mesma abordagem utilizada para as informações associadas à etapa de Construção, utilizou-se como referência indicadores preconizados na EN 15341 (*Maintenance Key Performance Indicators*) e direcionados para o segmento ferroviários, conforme o estudo *Operation and Maintenance Performance of Rail Infrastructure Model and Methods* [10].

Para o artigo foram avaliados os IGI previsos nos subitens Infraestrutura e Superestrutura, conforme pode ser observado no Quadro 5:

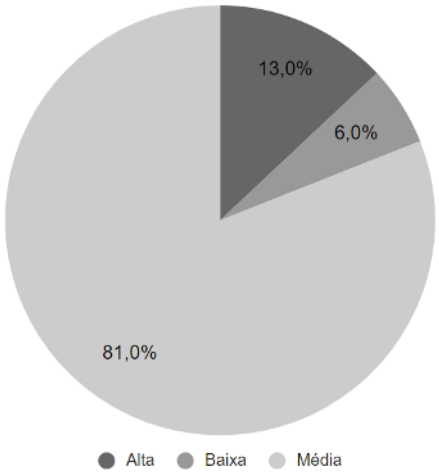
Quadro 5 – Análise dos IGI de Operação

Categoria	Subcategoria	Indicador / Grupo de Informações	Potencial de associar a informação ao modelo	Tipo de interface com o modelo ou recursos BIM	Softwares ou recursos aplicáveis
Infraestrutura	Aterro	Composição do Lastro	Alta	Modelo 3D	Software de Coordenação
Infraestrutura	Aterro	Rigidez do Pavimento - Carga Hidráulica	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Infraestrutura	Aterro	Rigidez do Pavimento - Deflectograph	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Infraestrutura	Geometria de Traçado	Relatório de Falhas	Alta	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Infraestrutura	Geometria de Traçado	Eixos de contato Sistema óptico Sistema intercial	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Infraestrutura	Entorno do Traçado	Clareza e visibilidade da sinalização	Baixa	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Trilho	Integridade - Monitoramento contínuo utilizando sensores (Temperatura e deformação horizontal)	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Trilho	Integridade - Descontinuidade nos trilhos	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Trilho	Integridade - Descontinuidade na superfície de rolagem	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Trilho	Perfil do trilho, Superfície do trilho, Fixadores	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Intersecções e Cruzamentos	Geometria e Integridade - Deflexões no traçado	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Intersecções e Cruzamentos	Geometria e Integridade - Monitoramento via sensores	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Intersecções e Cruzamentos	Geometria e Integridade - Sistemas Mecatrônicos	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Intersecções e Cruzamentos	Geometria e Integridade - Testes ultrasônicos	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Overhead Line	Posição e condição - Sistema Óptico	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento
Superestrutura	Overhead Line	Posição e condição - Câmeras de Monitoramento	Média	Vínculo de Informações ao modelo	Plataforma de desenvolvimento

Fonte: o autor

Diferente do observado na análise realizada sob a ótica da fase de Construção, a partir da Figura 7 é possível observar que o potencial de associar informações ao modelo é majoritariamente (81%) classificado como médio, indicando que as informações podem não ser diretamente associadas a elementos do modelo e a possível necessidade de desenvolvimento computacional para atender tal integração.

Figura 7: Potencial de Associação de Informações - Operação e Manutenção

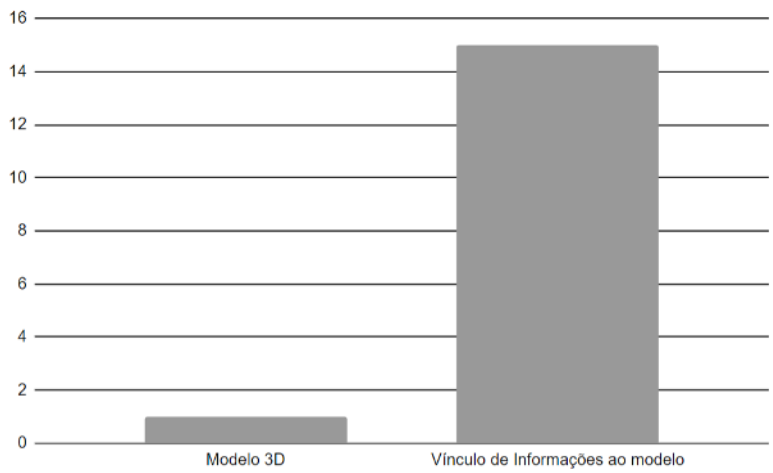


Fonte: o autor

A Figura 8 ao contabilizar graficamente o tipo de interface com o modelo, apresenta que a interface do tipo Vínculo de Informações ao Modelo teve maior representatividade.

Uma possível origem desse cenário compete a origem dos dados, onde observou-se grande parte dos IGI são provenientes de informações a serem coletadas em campo, remetendo à necessidade de construir um vínculo de tais dados ao modelo como um todo ou determinado elemento. Um exemplo prático desse cenário seriam os dados de sensores de vibração utilizados para monitoramento de determinada região da ferrovia.

Figura 8: Tipo de Interface com o modelo - Operação e Manutenção



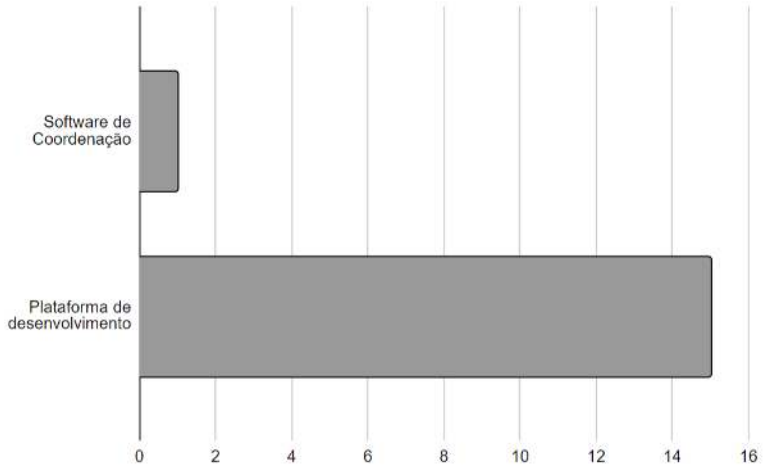
Fonte: o autor

A Figura 9 ao contabilizar o número de vezes que cada tipo de software foi apontado como capaz de realizar integração entre IGI e modelo na etapa de Operação e Manutenção, mostra que na maioria das situações há necessidade de desenvolvimento computacional para viabilizar a integração de dados com o modelo.

Um possível motivador desse cenário, é a característica de tais dados, tendo em vista que remetem majoritariamente a informações oriundas de campo - como ensaios,

imagens e sensoriamento –, bem como a ausência de softwares de mercado direcionados à fase de operação e manutenção de ferrovias.

Figura 9: Tipos de Softwares - Operação e Manutenção



Fonte: o autor

Por meio da revisão da literatura foi possível observar que o modal ferroviário cumpre um importante papel na cadeia logística nacional. No entanto, ao comparar a densidade ferroviária nacional com a de países de áreas territoriais semelhantes, constata-se o potencial de expansão da rede ferroviária brasileira.

Ao avaliar as possibilidades de utilização do BIM no segmento de ferrovias, foram identificadas aplicações e benefícios em todas as fases do ciclo de vida do empreendimento, desde a concepção do projeto, até a fase de operação e manutenção do ativo como um todo.

Durante o processo de prospecção de IGI referentes à gestão da construção, operação e manutenção, notou-se que para a fase de Construção existem diretrizes sólidas preconizadas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), enquanto para a fase de operação e manutenção houve necessidade de se buscar referências internacionais.

Ao realizar a análise dos IGI e a possibilidade de integração de tais dados com o modelo BIM para a fase de Construção, constatou-se que um número considerável de IGI foram classificados com baixo potencial de associação (47%) ao modelo. Em contrapartida, ao se excluir da amostra os itens de baixo potencial, observou-se que 76% dos IGI apresentaram alto potencial. Em relação aos softwares, os de Modelagem, Coordenação e com recursos de Planejamento 4D mostraram possuir maior capacidade de realizar o relacionamento entre modelo e IGI.

No que tange à análise da fase de operação e manutenção, devido ao fato da amostra de IGI possuir características de cunho técnico, apenas 6% foram classificados com baixo potencial de associação ao modelo. Em contrapartida, observou-se que o potencial de associar informações ao modelo é majoritariamente classificado como médio (81%). Paralelo a isso, identificou-se que grande parte das associações entre IGI e o modelo BIM passam pela necessidade de desenvolvimento computacional,

indicando uma ausência de softwares de mercado que atendam tal necessidade específica.

Por fim, sugere-se que futuras pesquisas sejam desenvolvidas no sentido de definir diretrizes que auxiliem na concepção de modelos BIM durante a fase de projetos de forma que facilite e viabilize a integração entre IGI e o próprio modelo nas fases de construção, operação e manutenção, contribuindo assim para aplicação da metodologia BIM de forma consistente e perene durante todo o ciclo de vida dos empreendimentos ferroviários.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. O SETOR FERROVIÁRIO DE CARGA BRASILEIRO. Disponível em: https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/. Acesso em: 4 maio 2022.

[2] IMUNTANYA. Challenges of work in railway environments. Disponível em: http://www.imuntanya.com/en/blog-en/challenges-of-work-in-railway-environments/. Acesso em: 6 maio 2022.

[3] SEDGHI, M. et al. A taxonomy of railway track maintenance planning and scheduling: A review and research trends. ScienceDirect, _local_, v. 215, n. 1, p. 1-1, nov./2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832021003483. Acesso em: 2 maio 2022.

[4] BRADLEY, A. et al. BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. ScienceDirect, Cardiff University, v. 71, n. 2, p. 139-152, set./2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051630173X. Acesso em: 3 maio 2022.

[5] COSTINA, A. et al. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure: Literature review, applications, challenges, and recommendations. ELSEVIER, University of Florida, v. 94, n. 1, p. 257-281, out./2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517309470. Acesso em: 2 maio 2022.

[6] DING, L. et al. Using nD technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction. Automation in Construction. ELSEVIER. v. 21, n. 1, p. 64-73, jan./2012. Disponível em: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0926580511000975?token=318FFEF31C4CACAB41DBFF236DB6B6C9D877FA18B27E0A4EFC3FFCF87CF6091E6AAFA3AAD3EA1E149C09FA24DBD3CAD0&originRegion=us-east-1&originCreation=20220522182413. Acesso em: 12 maio 2022.

[7] ASIA-PACIFIC RAIL INNOVATION FORUM. Building Information Modelling (BIM) in Railways. Disponível em: https://events.development.asia/system/files/materials/2019/05/201905-building-information-modelling-bim-railway-design-construction-operation-and-asset-management.pdf. Acesso em: 6 maio 2022.

[8] BUILDING SMART. IFC Rail Project, WP2 – Requirement Analysis Report - Overview and content of the business requirements from railway industry. Disponível em: https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Requirement_Analysis_Report_-_.pdf /. Acesso em: 15 outubro 2022.

[9] HARRIS, F.; MCCAFFER, R.; BALDWIN, A.; FOTWE, F. Modern Construction Management. 8 ed. Nova York: Wiley-Blackwell, 2021

[10] STENSTRÖM, C.; PARIDA, A.; GALAR, D. Performance Indicators of Railway Infrastructure. Saxe Coburg Publications, Sweden, v. 1, n. 3, p. 1-18, dez./2012. Disponível em: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1072.6558&rep=rep1&type=pdf. Acesso em: 16 maio 2022.

[11] STENSTRÖM, Christer. Operation and Maintenance Performance of Rail Infrastructure: Model and Methods. 1. ed. Luleå University of Technology: Luleå University of Technology, 2014. p. 1-204.

[12] ANTT: MANUAL DE ACOMPANHAMENTO DA IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA. 2. ed. Brasília: Superintendência de Infraestrutura e Serviço de Transporte Ferroviário de Cargas – SUFER, 2017. p. 1-75.

[13] FTA FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION: Construction Project Management Handbook. 1. ed. Washington: U.S. Department of Transportation, 2016. p. 1-178.

[14] ARMSTRONG, J. Scott. The value of formal planning for strategic decisions: review of empirical research. Penn Libraries, University of Pennsylvania, v. 3, n. 3, p. 197-211, jan./1982. Disponível em: https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1033&context=marketing_papers. Acesso em: 9 maio 2022.