

Automação na modelagem de pontes em ambiente BIM para aplicação em projetos conceituais

Bruno Souza Borges¹, Darlane Ilvênia Ferreira², Diôgo Silva de Oliveira³, Kléos Magalhães Lenz Cesar Júnior⁴, José Maria Franco de Carvalho⁵, José Carlos Lopes Ribeiro⁶, Carol Ferreira Rezende Santos⁷, Letícia Negris Gardioli⁸, Victor Moreno Lima⁹

¹ Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / bruno.s.borges@ufv.br

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

Resumo

O BIM tem se consolidado como padrão na engenharia devido à flexibilidade, precisão e riqueza de informações que a modelagem paramétrica fornece. No entanto, sua aplicação em obras de arte especiais ainda é limitada, principalmente pela falta de ferramentas avançadas de modelagem. Para mitigar essa limitação, alguns softwares permitem a criação de objetos paramétricos personalizados. Embora a implementação do BIM enfrente desafios, ferramentas para comunicar com a API de programas BIM são exploradas para maximizar eficiência, padronização e produtividade. Nesse contexto, o Dynamo, ferramenta de programação visual integrada ao Revit, permite a automação de processos, o que facilita a criação de estruturas parametrizáveis por meio da comunicação com a API do Revit. O presente trabalho propõe a criação de uma rotina no Dynamo para o posicionamento de elementos paramétricos em modelos paramétricos de pontes sobre longarinas. No ambiente do Dynamo o usuário pode inserir dados como número de vãos, quantidade de longarinas e largura total do tabuleiro, e a rotina ainda permite atribuir qualquer seção definida aos objetos do modelo, inclusive seções livres. Esses dados são manipulados dentro da rotina, junto com os parâmetros dos objetos posicionados e definidos. O modelo foi parametrizado em nível conceitual, englobando definições das seções transversais, posicionamento e parametrização das longarinas, diafragmas, laje do tabuleiro, barreiras, aparelhos de apoio, travessas, pilares, encontros, laje de transição e fundação sobre blocos e estacas. O estudo resultou na criação de uma rotina que permite a criação de modelos paramétricos de pontes, com aplicabilidade na fase conceitual do projeto. Assim, o modelo é continuamente otimizado, garantindo maior precisão e eficiência em todas as fases do projeto.

Palavras-chave

Modelagem paramétrica; Ponte; Automação; Dynamo.

Introdução

Enquanto nos programas de interface puramente CAD têm-se entidades gráficas desprovidas de qualquer informação atribuída no âmbito da construção, em um ambiente BIM, *Building Information Modeling*, tem-se a modelagem de componentes reais de edifícios, com representação geométrica e parâmetros, muitas vezes editáveis pelo próprio usuário do programa, que governam seu comportamento e, por conta disso, essa tecnologia é comumente chamada de modelagem paramétrica baseada em objetos. Com a utilização dessa tecnologia, são permitidos processos de construção mais sustentáveis com recursos reduzidos e de menor risco quando comparados com as práticas tradicionais (SACKS et al., 2018).

Apesar das tecnologias que fundamentaram o BIM, principalmente a computação gráfica, remontarem desde a década de 1970, a exploração do potencial dessa metodologia para pontes começou apenas por volta de 2011, com foco em manutenção (HONGHONG et al., 2023), recebendo-se a denominação de BrIM, *Bridge Information Modeling* ou, para obras de infraestrutura em geral, CIM, *Construction/Civil Information Modeling*. Como a aplicação do BIM já envolve alguns desafios para edificações usuais, sua aplicação para obras de infraestrutura inerentemente apresenta complicações, sendo potencializado pelo fato do BIM e do

IFC (*Industry Foundation Classes*) não serem desenvolvidos inicialmente para esse tipo de obra (COSTIN et al., 2018).

Algumas das justificativas para o atraso da implementação do BIM para essas obras, segundo Georgoula (2019), são listadas abaixo:

a) Grande parte dessas obras é administrada pela esfera pública, que tende a não se preocupar tanto com custos e ter pouco interesse em aumentar a eficiência dos processos (YABUKI, 2010);

b) No setor de edifícios, os custos relativos ao projeto giram em torno de 7 a 10% do custo total da obra, enquanto para obras de infraestrutura esse percentual fica em torno de 4%. Dessa forma, apesar dessas obras normalmente serem de grande porte, o retorno sobre o investimento não é muito atrativo para as empresas para a introdução de processos BIM;

c) A maioria dos engenheiros de infraestrutura não está preocupada com a eficiência dos processos que envolvem um projeto;

d) Falta de softwares eficientes e especializados no domínio da infraestrutura, bem como de esquemas de dados adequados para a interoperabilidade.

Diante desse cenário, tanto o setor público quanto as empresas de engenharia não ousaram, em um primeiro momento, em engajar e assumir riscos para implantar novas tecnologias nesses projetos, incluindo o BIM (YABUKI, 2010). Porém, recentemente, as vantagens do uso do BIM para essas obras têm se tornado mais evidente, possuindo uma série de aplicações, como extração de quantitativos, detecção de incompatibilidades, manutenção e análise estrutural (COSTIN et al., 2018).

A atualização do esquema de dados IFC para englobar a representação e semântica de elementos de infraestrutura pode preencher a lacuna de interoperabilidade entre modelos de infraestrutura e, com isso, tornar o desenvolvimento dessas ferramentas aplicáveis a esse tipo de obra mais proveitoso e com interfaces mais intuitivas, tornando mais acessível a sua aplicação e, conseqüentemente, a difusão da metodologia no mercado. Para tanto, são necessários investimentos no desenvolvimento de softwares ou ferramentas que auxiliem a criação de modelos BIM de infraestrutura tanto no ambiente acadêmico quanto empresarial, o que fornece uma melhor adequação das metodologias com fluxos de trabalho.

Diante disso, o presente estudo propõe a criação de um algoritmo para a modelagem de pontes mistas em viga que permita o maior grau possível de parametrização da informação em um ambiente BIM. Para tanto, será levantado o estado da arte da modelagem paramétrica aplicada em pontes e serão listados os dados ou parâmetros relevantes em um projeto BIM de uma ponte.

Fundamentação teórica

Com o avanço das ferramentas CAD (*Computer Aided Design*), a modelagem de edifícios em três dimensões se tornou possível e, atualmente, há o desenvolvimento de uma tecnologia adequada para a construção de um modelo virtual rico em informações, não se limitando apenas à representação geométrica, chamada *Building Information Modeling* (BIM), cuja definição não deve ser entendida como um tipo de programa ou objeto, mas sim como um sistema que envolve amplas mudanças no processo de design, construção e gerenciamento. Enquanto o processo de projetar, que passou da forma manual para a assistida por computador foi marcado apenas pelo aumento de produtividade em um primeiro momento, o BIM revolucionou a indústria da construção por permitir o armazenamento e o uso de informações associadas ao modelo em diferentes estágios ao longo de sua vida útil (SACKS et al., 2018).

Conforme Smith e Tardif (2009), como o modelo funciona como um repositório de informações ao longo da vida útil da construção, todo potencial do BIM é aproveitado, sendo de grande valia nas fases de design, construção, operação e manutenção. Com isso, os autores recomendam a interpretação do modelo como um compêndio de informações, e não como incorporação de diferentes dimensões de trabalho em uma construção, definições frequentemente encontradas na bibliografia (BALDRICH ARAGÓ et al., 2021; NICAŁ; WODYŃSKI, 2016; TRAN et al., 2022) que se referem ao nível de complexidade informacional presente nos elementos de caráter subjetivo, uma vez que não há um número máximo ou mínimo de atributos ou dimensões que podem ser considerados, a depender primordialmente da finalidade do modelo.

Os softwares de modelagem BIM atuais são o resultado de cerca de quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento de ferramentas computacionais para design 3D interativo, culminando na modelagem paramétrica baseada em objetos. Além da semântica, outra característica fundamental do BIM é a incorporação de regras paramétricas nos elementos, como propriedades físicas e mecânicas, ligações entre elementos, parâmetros que definam a geometria do elemento, dentre outras (SACKS et al., 2018). Essas regras devem,

idealmente, governar o comportamento dos objetos, sendo de grande valia para a interoperabilidade do modelo e, para isso, essas propriedades não podem constituir de apenas informações textuais.

Objetos paramétricos no BIM possuem as seguintes características (SACKS et al., 2018):

- a) Definições geométricas e dados relacionados, bem como regras;
- b) Geometria integrada não redundante, não permitindo inconsistências em diferentes vistas de um mesmo objeto;
- c) Regras paramétricas modificam automaticamente os objetos conforme interações entre os elementos;
- d) Alterações de um subcomponente de um objeto devem refletir no elemento como um todo;
- e) As regras de um objeto podem identificar quando uma mudança viola a viabilidade quanto ao tamanho e manufatura.

Ao se realizar a modelagem em um ambiente BIM, o modelo tridimensional e seus elementos não possuem apenas características geométricas, sendo possível a criação de propriedades não geométricas e quaisquer relações entre elas. Do ponto de vista de armazenamento, o modelo de informação é uma base de dados estruturada, na qual todos os elementos possuem parâmetros, ou atributos, que descrevem as características geométricas, técnicas, econômicas, dentre outras, requeridas para o projeto em diferentes fases de seu ciclo de vida. Através desses parâmetros, é possível analisá-los de forma a realizar os mais variados tipos de análises possíveis, como estruturais, planejamento e de custos (IGNATOVA; ZOTKIN; ZOTKINA, 2018).

De acordo com Abdallah (2017), há três tipos de ferramentas de modelagem:

- Modeladores baseados em objetos pré-definidos: o acesso aos dados e parâmetros é muito limitado e, em geral, os projetistas possuem acesso limitado aos parâmetros de projeto. Exemplos típicos que se enquadram nessa categoria são Graphisoft Archicad, Autodesk Revit e Vectorworks;
- Modeladores semi-restritivos: maior liberdade em relação à categoria anterior, com maior possibilidade de intervir nos parâmetros de projeto. Nessa categoria, citam-se como exemplos Dassault Systèmes Catia, Autodesk 3ds Max, Autodesk AutoCAD e Autodesk Maya;
- Modeladores livres: quase acesso total aos dados são concedidos ao projetista, com quase total liberdade de composição e parametrização, caso das ferramentas Autodesk Dynamo, David Rutten at Robert McNeel & Associates Grasshopper (plug-in do Rhinoceros 3D) e Bentley Systems Generative Components.

Como as pontes podem possuir as mais variadas geometrias possíveis, a utilização de modeladores livres tende a ser a mais adequada para esses modelos (GIRARDET; BOTON, 2021).

Como softwares BIM não são suficientes para prover soluções a todas as tarefas específicas de um projeto, a extração, análise e transmissão das informações de um modelo tornam-se necessárias. Dessa forma, o acesso e processamento desses dados podem ser realizados através da própria aplicação, ficando os dados da análise incorporados no modelo, ou externamente à ela, geralmente não possuindo um enriquecimento do modelo quanto à informação, já que os resultados de uma eventual análise normalmente não voltam para o modelo. Para estabelecer novas funções ou para extrair dados de um modelo, é possível usar as capacidades nativas do programa, bem como a criação de macros, plug-ins e scripts baseados na interface de programação do aplicativo (*Application Programming Interface* - API) (IGNATOVA; ZOTKIN; ZOTKINA, 2018).

A Autodesk permite o acesso, bem como a manipulação de dados de um modelo BIM, através da interface de programação do Autodesk Revit (API), permitindo a automação de tarefas repetidas e a extensão das funcionalidades base do programa. Ela é totalmente acessível com qualquer linguagem compatível com o pacote da Microsoft .NET Framework 4.8, plataforma que possibilita a criação de diferentes aplicativos através de ferramentas e linguagens de programação, como C#, C++, Visual Basic, Python e JScript. Através das ferramentas da API, é possível o acesso e processamento de propriedades geométricas e não geométricas do modelo, inclusive a geração automática da documentação do projeto. O Dynamo, que também se comunica através da API do Revit, também pode ser utilizado para a manipulação desses dados, sendo uma ferramenta de programação visual no qual os elementos são conectados para a definição das relações e sequências de ações que conjuntamente compõem algoritmos personalizado (AUTODESK, 2020, 2023b, 2023c; MICROSOFT, 2022; SENA, 2020).

Dynamo é uma plataforma criada pelo projeto The Dynamo Primer conduzido pela Autodesk. Trata-se de um ambiente *open source* (de código aberto) que utiliza programação visual feita para auxiliar a automação de tarefas em projetos. Através do Dynamo, é possível criar geometrias com relações paramétricas, ler e gravar dados de bases externas. Com isso, essa plataforma se comunica com a API do Autodesk Revit, que é justamente uma base de dados de um modelo BIM, podendo os dados serem quaisquer parâmetros

associados ao modelo, como valores de parâmetros, geometrias, posicionamento de objetos, dentre outros. Basicamente, o Dynamo manipula a base de dados do Autodesk Revit de formas com que a interface base do programa não consegue. Além disso, outra propriedade importante do Dynamo é que através dele é possível a criação de uma relação direta entre sua própria geometria e o Autodesk Revit; por exemplo, pode-se criar uma geometria no Dynamo e associá-la a um elemento de viga no Autodesk Revit, de forma que qualquer alteração na geometria do Dynamo reflita também no modelo do Autodesk Revit. Vale destacar que o Dynamo é um programa independente do Autodesk Revit, podendo ser utilizado nas mais variadas aplicações BIM (AUTODESK, 2018; SGAMBELLURI, 2015). O fluxo de troca de dados entre o Dynamo e o Autodesk Revit é esquematizado na Figura 1.

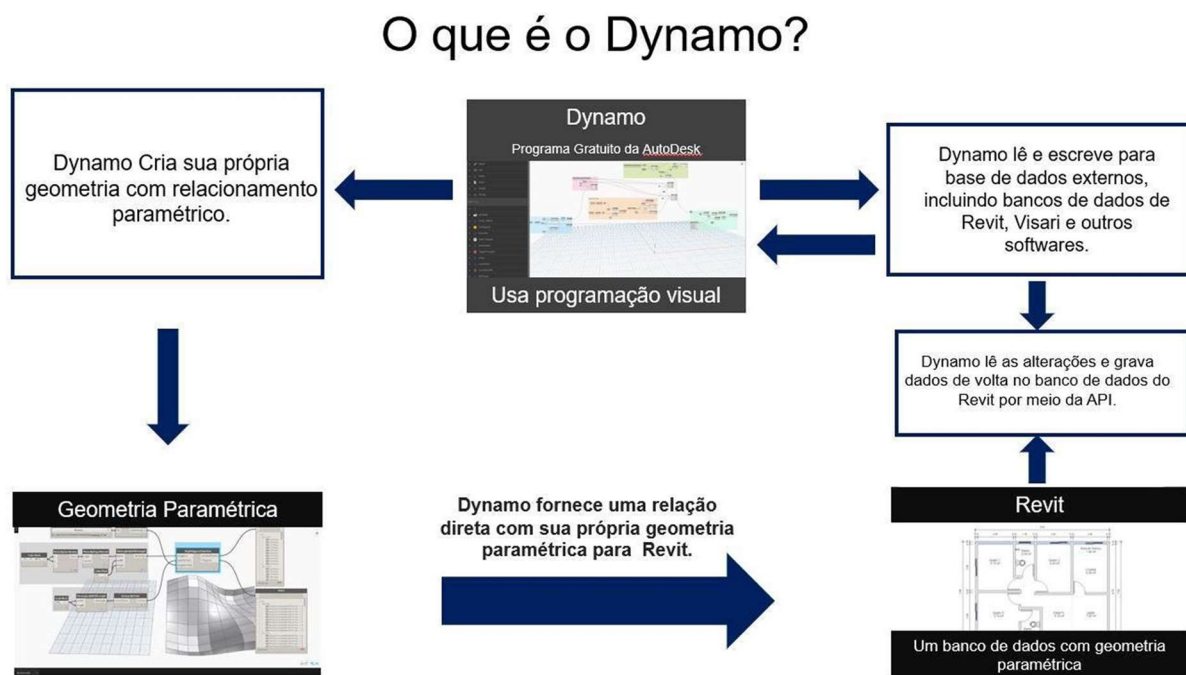
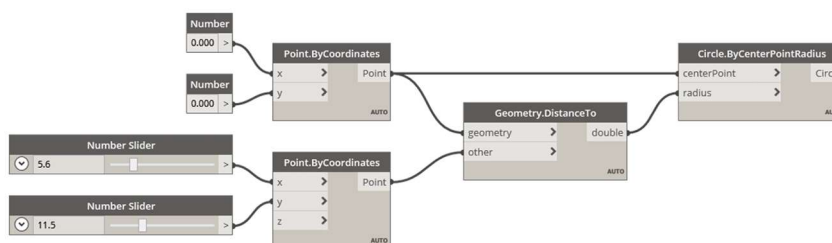


Figura 1 - Comunicação entre Dynamo e o Autodesk Revit.
Fonte: Sena (2020)

Dessa forma, o Dynamo permite que os usuários usem a API do Revit por meio de programação visual, sem a necessidade de utilizar linguagens do pacote da Microsoft .NET Framework 4.8, através do uso de nós (ou caixas) e fios (linhas que ligam um bloco a outro) de forma a montar um algoritmo (SGAMBELLURI, 2015). Como a linguagem de programação utilizada é visual, fica facilitada a comunicação com o usuário, como ilustrado na Figura 2.



Programa textual:

```
myPoint = Point.ByCoordinates(0.0,0.0,0.0);
x = 5.6;
y = 11.5;
attractorPoint = Point.ByCoordinates(x,y,0.0);
dist = myPoint.DistanceTo(attractorPoint);
myCircle = Circle.ByCenterPointRadius(myPoint,dist);
```

Figura 2 - Algoritmo visual com uso de nós e sua correspondência em linguagem textual.
Fonte: Autodesk (2015)

As principais funcionalidades dentro do ambiente de programação no Dynamo podem ser resumidas através da Figura 3, tela que é aberta ao se iniciar um novo projeto. Através dos menus que constam em (1), é possível acessar as aplicações gerais do programa, como criar e salvar arquivos, ajustar vistas e acessar ferramentas gerais de modificação. Os nós, que possuem funcionalidades específicas, constam na biblioteca representada em (2), sendo através deles o acesso e manipulação de dados do modelo. A visualização do código e de geometrias criadas no Dynamo é feita na tela representada em (3).

Na Figura 4, Quadro 1, destaca-se a aba de ajuda do programa, sendo possível o acesso ao seu manual e dicionário, bem como outros recursos de amparo ao usuário. Em [1], destaca-se a representação de um nó do programa, que representam objetos e funções a serem executadas; em [2] os fios que são as conexões entre os nós de forma a alimentar o input ou output de dados dos nós, sendo o fluxo de informações dado no sentido da esquerda para direita, como indicado em [3]. A entrada de dados de um nó está representada em [4], enquanto seu processamento gera informações de saída, como representado em [5] e [6]. Em [7], [8] e [9], é exemplificado a pesquisa de um nó para a realização de uma tarefa específica (SENA, 2020).

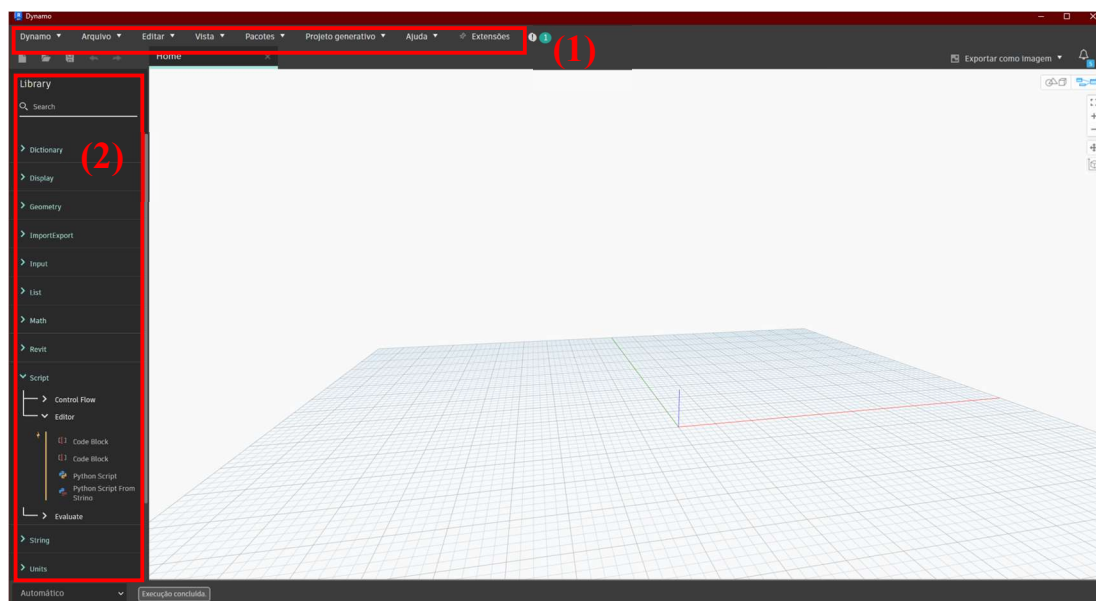


Figura 3 – Inicialização de um novo projeto no Dynamo.
Fonte: Autores (2025)

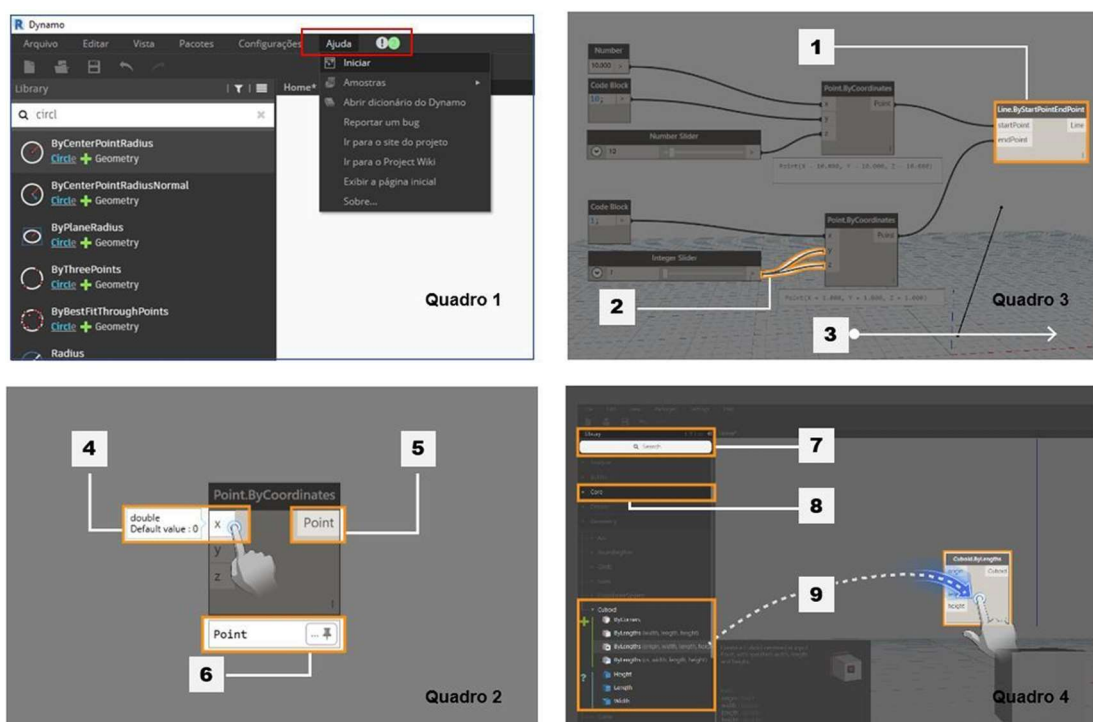


Figura 4 - Funcionamento básico de um algoritmo no Dynamo.
Fonte: Sena (2020)

Como a modelagem BIM envolve a parametrização da informação, a busca por parâmetros geométricos e não-geométricos que controlam o comportamento de determinado elemento no modelo é essencial para a manipulação desses dados e, consequentemente, a realização de operações para a obtenção de um modelo paramétrico adequado aos anseios do projetista. No Dynamo, os nós que atendem a essa demanda são `Element.GetParameterValueByName` para a busca de determinado parâmetro e `Element.SetParameterValueByName` para a alteração do valor de determinado parâmetro.

O Dynamo permite a interface com outras linguagens de programação através dos nós específicos para incorporação de códigos criados no Python e de comando da linguagem DesignScript. Isso é particularmente interessante quando o algoritmo necessário requer muitos nós e várias interconexões, sendo o Python mais adequado para lidar com situações envolvendo condicionais e loops (AUTODESK, 2019).

Por se tratar de uma tecnologia de código aberto, é possível a criação de nós personalizados para a realização de tarefas específicas caso esses não estejam originalmente disponíveis de forma nativa na plataforma, sendo disponibilizado o download de diversos nós criados pela comunidade através do gerenciador de pacotes. A criação desses nós pode permitir a redução de nós de um algoritmo proposto inicialmente utilizando apenas nós nativos da plataforma (AUTODESK, 2019).

A criação de nós customizados pela comunidade permite a extensão das funcionalidades básicas do Dynamo; desse modo, a coleção de vários nós personalizados para a execução de tarefas específicas é de grande importância dentro da plataforma. O conjunto desses nós é conhecido como pacote, sendo disponibilizada uma coletânea de pacotes. Na data da pesquisa, ao todo são 1980 pacotes disponíveis na plataforma criados por 1244 autores, resultando em 5250799 instalações pelos usuários (AUTODESK, 2023a).

Metodologia

A presente pesquisa busca avaliar a aplicabilidade da ferramenta de modelagem livre Dynamo para a realização da modelagem BIM de pontes mistas com seus parâmetros geométricos. Para isso, será estabelecido um algoritmo considerando todos os parâmetros julgados necessários, de forma a se obter o modelo mais paramétrico possível. Com isso, a pesquisa se desenvolveu conforme detalhado no fluxograma da Figura 5 e descrito no parágrafo seguinte.

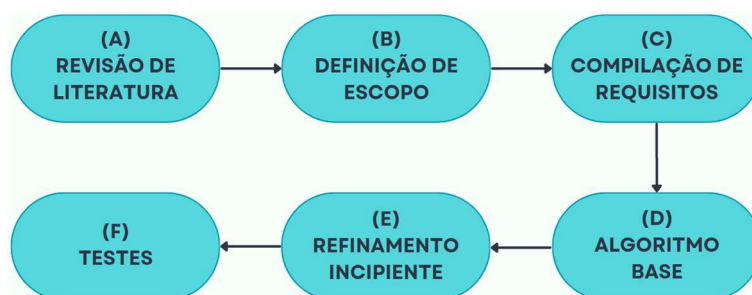


Figura 5 – Fluxo de atividades desenvolvidas na pesquisa.
Fonte: Autores (2025)

a) Revisão de literatura: realizada de forma a estabelecer o estado da arte da modelagem paramétrica, focando-se em pontes;

b) Definição de escopo da ponte: de forma a delinear o campo de aplicação do algoritmo;

c) Compilação de requisitos: de forma a compreender os dados e parâmetros relevantes em um projeto de ponte em um ambiente BIM, foi realizada a listagem dos dados geométricos de interesse de forma a acessá-los e manipulá-los dentro do algoritmo;

d) Criação do algoritmo base: a partir dos requisitos principais de geometria definidos no item (c), foi realizada a criação do protótipo do algoritmo para realizar um modelo paramétrico limitado à geometria;

e) Refinamento incipiente do algoritmo: implementação de recursos adicionais para a incorporação dos parâmetros faltantes estabelecidos no item (c);

f) Testes do algoritmo: geração de modelos BIM com o algoritmo e sua retroalimentação com base nos dados de input e output de forma a solucionar possíveis problemas.

Resultados

Conforme detalhado na Figura 6, os elementos da ponte foram organizados de maneira que o algoritmo fique segmentado, o que facilita a conferência durante os testes. A entrada de dados é feita de maneira manual em (a) e é possível alterar valores referentes ao número de vãos, ao comprimento dos vãos, ao número de longarinas, comprimento do perfil utilizado, largura da ponte, entre outros. O algoritmo se mostra uma ferramenta de grande utilidade na criação de modelos conceituais de pontes mistas, devido à sua flexibilidade e velocidade, permitindo testar diferentes possibilidades de modelos em pouco tempo.

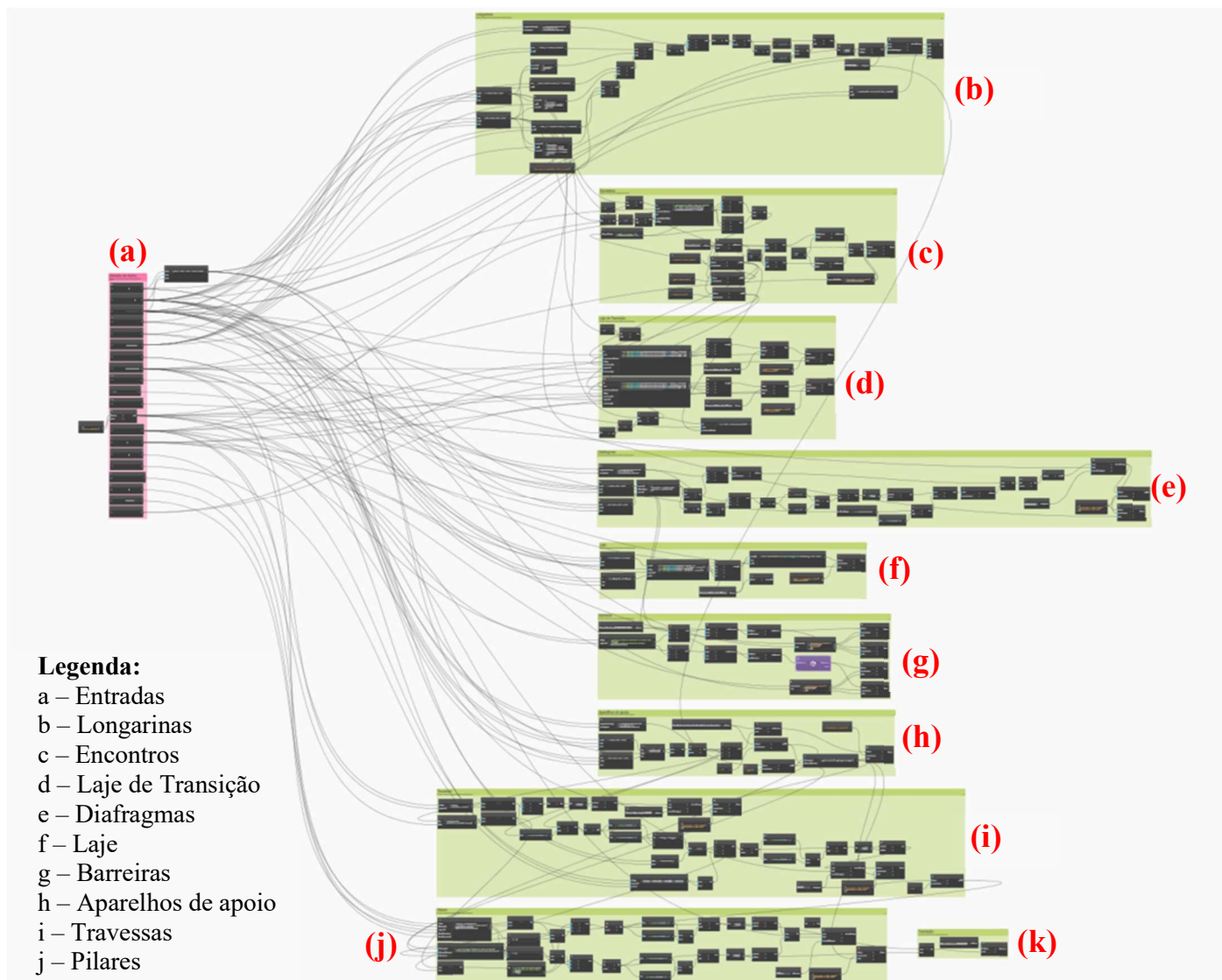


Figura 6 - Panorama geral do algoritmo.

Fonte: Autores (2025)

Para utilização do algoritmo é necessário abrir um *template* no Revit com as famílias configuradas e executar o fluxo de trabalho. Nas Figuras 7 e 8 são apresentadas vistas isométricas de pontes geradas pelo algoritmo, sendo ambas com 60 metros de comprimento, mas contendo 2 e 3 vãos, respectivamente. Essas figuras ilustram o potencial do algoritmo de gerar diversas configurações de ponte mista de acordo com a necessidade do usuário.

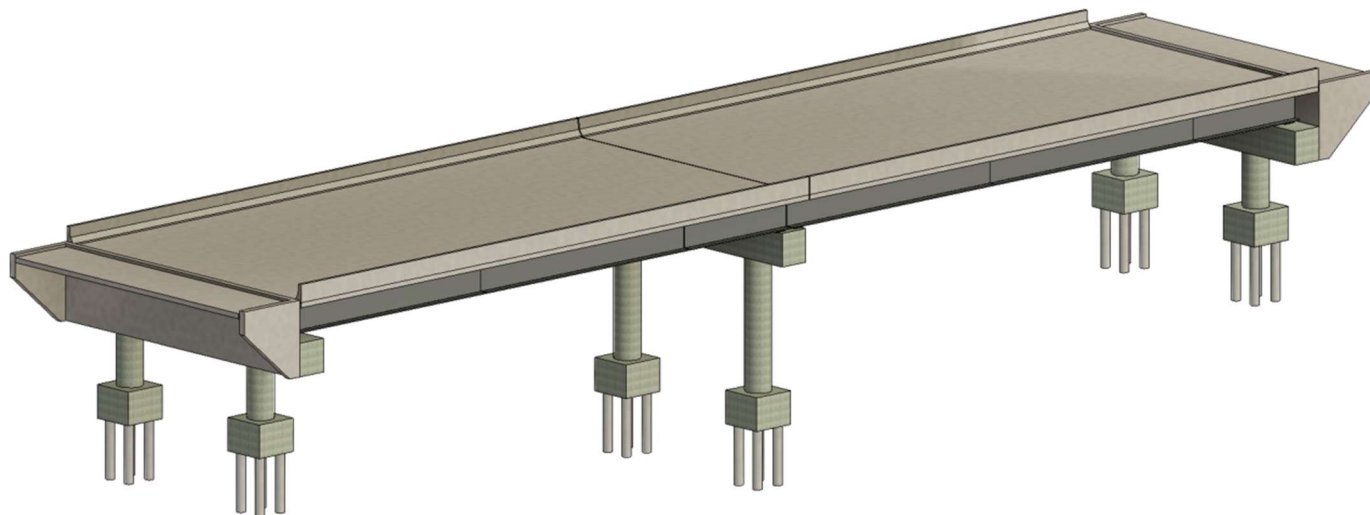


Figura 7 – Ponte gerada pelo algoritmo contendo dois vãos.
Fonte: Autores (2025)

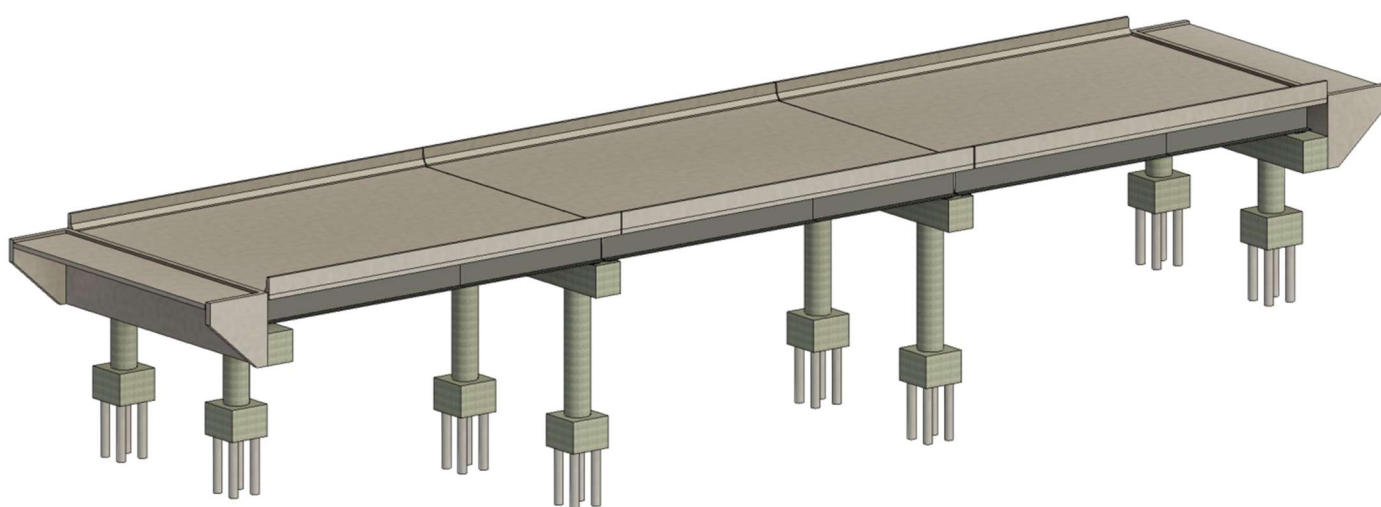


Figura 8 - Ponte gerada pelo algoritmo contendo três vãos.
Fonte: Autores (2025)

Conclusões

O presente estudo demonstrou o potencial da utilização da modelagem paramétrica, por meio da ferramenta Dynamo, para a elaboração de modelos BIM de pontes mistas. O algoritmo desenvolvido permitiu a criação de modelos parametrizados a partir de dados de entrada definidos pelo usuário.

A aplicação da metodologia BIM para o desenvolvimento de projetos conceituais de pontes mostrou-se promissora. Além da agilidade, a utilização do Dynamo possibilitou ajustes conforme as necessidades do projeto, permitindo a avaliação de diversas configurações de vão, seção transversal e posicionamento dos elementos estruturais de forma simples e rápida. Isso contribui para uma tomada de decisão mais assertiva na fase inicial do projeto, otimizando o desenvolvimento posterior e minimizando retrabalhos.

Destaca-se que, apesar dos avanços obtidos, a modelagem paramétrica de pontes em ambiente BIM ainda apresenta oportunidades de desenvolvimento, principalmente no que se refere à incorporação de parâmetros não geométricos e à interoperabilidade entre diferentes plataformas. Nesse sentido, o presente trabalho contribui para a difusão da metodologia BIM no setor de infraestrutura e para o aprimoramento das técnicas de modelagem paramétrica aplicadas a pontes.

Por fim, espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam fomentar novos estudos na área, bem como incentivar a adoção da metodologia BIM por empresas e órgãos públicos responsáveis pelo projeto, construção e manutenção de obras de infraestrutura, utilizando processos mais eficientes, sustentáveis.

Referências

- ABDALLAH, Yasmine Ben. Conception architecturale et modélisation paramétrique. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01807920>.
- AUTODESK. About | The Dynamo Primer. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://primer.dynamobim.org/>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- AUTODESK. Dynamo Packages. [S. l.], 2023a. Disponível em: <https://dynamopackages.com/>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- AUTODESK. Help | What Can You Do with the Revit Platform API? | Autodesk. [S. l.], 2023b. Disponível em: https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=Revit_API_Revit_API_Developers_Guide_Introduction_Getting_Started_Welcome_to_the_Revit_Platform_API_What_Can_You_Do_with_the_Revit_Platform_API_html. Acesso em: 10 jun. 2023.
- AUTODESK. O que é o Dynamo? | O Dynamo Primer. [S. l.], 2020. Disponível em: https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html. Acesso em: 10 jun. 2023.
- AUTODESK. Revit | Autodesk Platform Services. [S. l.], 2023c. Disponível em: <https://aps.autodesk.com/developer/overview/revit>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- AUTODESK. The Dynamo Primer. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://github.com/DynamoDS/DynamoPrimer/issues>.
- BALDRICH ARAGÓ, Anna et al. Quantity surveying and BIM 5D. Its implementation and analysis based on a case study approach in Spain. *Journal of Building Engineering*, [s. l.], v. 44, 2021.
- GEORGOULA, Vasiliki. Development of an Autodesk Revit Add-in for the Parametric Modeling of Bridge Abutments for BIM in Infrastructure. 2019. Dissertação (Mestrado) - Technical University Of Munich, Munique, 2019.
- GIRARDET, Alexis; BOTON, Conrad. A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis. *Automation in Construction*, [s. l.], v. 126, 2021.
- HONGHONG, Song et al. Digital twin enhanced BIM to shape full life cycle digital transformation for bridge engineering. [S. l.]: Elsevier B.V., 2023.
- IGNATOVA, Elena; ZOTKIN, Sergey; ZOTKINA, Irina. The extraction and processing of BIM data. Em: [S. l.], 2018. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2018.
- MICROSOFT. O que é .NET Framework? Uma estrutura de desenvolvimento de software. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://dotnet.microsoft.com/pt-br/learn/dotnet/what-is-dotnet-framework>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- NICAŁ, Aleksander K.; WODYŃSKI, Wo cieć . En ancin Facility Mana ement t ro BIM 6D. Em: [S. l.], 2016. *Procedia Engineering*. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2016. p. 299–306.
- OSTIN, Aaron et al. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, [s. l.], v. 94, p. 257–281, 2018.
- SACKS, Rafael et al. *BIM Handbook*. 3. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2018. v. 1
- SENA, Paulo César Peixoto de. AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS DE PROJETO E PROGRAMAÇÃO EM BIM: DYNAMO, PYTHON E C#. 2020. [s. l.], 2020.
- SGAMBELLURI, Marcello. More Practical Dynamo: Practical Uses for Dynamo Within Revit. [S. l.: s. n.], 2015.
- SMITH, Dana K.; TARDIF, Michael. *Building Information Modeling - A strategic implementation guide for Architects, Engineers, Constructors and Real Estate Asset Managers*. 1. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2009. v. 1
- TRAN, Si Van Tien et al. Generative planning for construction safety surveillance camera installation in 4D BIM environment. *Automation in Construction*, [s. l.], v. 134, 2022.
- YABUKI, Nobuyoshi. *Issues and Implementation Methods for BIM in the Civil Infrastructure Domain*. Hong Kong, China: [s. n.], 2010.