

A UTILIZAÇÃO DO BIM NA MODELAGEM ESTRUTURAL DE PONTES

Bruno Cesare Lanzoni ¹; Cássia Silveira de Assis ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *No presente trabalho desenvolveu-se a modelagem de uma obra de arte no software Revit 2019 com base em um projeto feito em modelo CAD. Para a devida modelagem estrutural da ponte em estudo foram criadas famílias nesse software (grupos de elementos com propriedades em comum) de forma que, após a união dessas e montagem da ponte, a mesma pudesse ser importada para o software Robot Structural Analysis Professional 2019 a fim de realizar a análise estrutural do projeto. O objetivo do trabalho é avaliar a viabilidade da modelagem e confecção do projeto de uma ponte em softwares que apresentem características de BIM, assim como a interoperabilidade entre os mesmos e, no processo, embasar uma comparação entre os modelos em CAD e BIM, apontando as vantagens e desvantagens encontradas durante o progresso do trabalho até a etapa da análise estrutural.*

Introdução

O setor da construção abrange uma grande quantidade de subsetores fundamentais para a elaboração de um projeto e, por consequência, para a conclusão de qualquer obra. A fim de facilitar a comunicação entre os subsetores, a tecnologia avançou apresentando novos modelos e metodologias de se projetar e planejar uma construção.

Algumas décadas atrás houve o surgimento do sistema CAD (*Computer Aided Design*) para levar projetistas da prancheta para o computador e, com isso, desenvolver um trabalho mais rápido e fácil do que era de costume. Sabe-se que crescimento exponencial da construção civil é influenciado diretamente por fatores como o crescimento populacional e os preços encontrados em produtos do setor (FOCHEZATTO; GHINIS, 2011), aumentando cada vez mais a necessidade de efetuar obras rápidas e baratas, e com essa urgência surgiu o sistema BIM (*Building Information Modelling*) com a mesma intenção que seu predecessor: integrar ainda mais os subsetores da construção, aumentando a produtividade e rastreabilidade.

O BIM exhibe uma evolução ainda maior do que a vista na implementação do sistema CAD, apresentando uma forma de trabalho colaborativo entre esses subsetores e gerando, em um único modelo, informações estruturais, arquitetônicas, de instalações hidráulicas e elétricas, entre outros (MIETTINEN; PAAVOLA, 2014). Essas inovações associadas ao BIM são feitas para permitir uma maior facilidade e eficiência em relação ao projeto e sua implantação (HERR; FISCHER, 2019), remodelando o setor da construção civil (AZHAR et al., 2015) por possuir características únicas de grande valia para o andamento de projetos.

A riqueza de informações e possibilidades que visam facilitar e enriquecer o projeto modelado através de uma plataforma BIM tornam o processo mais rápido e viável tratando-se de edifícios e obras da construção civil (MAIA et al., 2015). Uma vez que um projeto toma início em uma plataforma BIM, todas as informações referentes a ele passam a fazer parte de um único arquivo no qual quaisquer mudanças realizadas são automaticamente replicadas para cada vista, planta, corte e elevação. Essa ferramenta possibilita uma documentação do projeto de maneira mais rápida e segura, uma vez que menos informações podem ser perdidas entre as fases da modelagem do projeto. Tratando não apenas da fase de projeto, mas também do gerenciamento da obra, incluindo também a possibilidade da implementação de cronogramas e informações quantitativas no mesmo arquivo em que foi modelada a edificação.

Material e métodos

Para o estudo e a concepção da ponte, foi utilizado como base um projeto com formato CAD de Nogueira *et al.* (2018), o qual apresenta a planta e cortes da ponte, assim como os detalhes das peças pré-moldadas que constituem a estrutura. Após o estudo do projeto CAD em duas dimensões, foram modeladas no *software* Revit (em três dimensões) as famílias dos elementos estruturais pré-moldados que, posteriormente, foram dispostas em suas respectivas posições, assim compondo a ponte em sua totalidade. Durante essa etapa do trabalho foram analisadas as vantagens e desvantagens da implantação de um sistema BIM na modelagem estrutural de uma ponte.

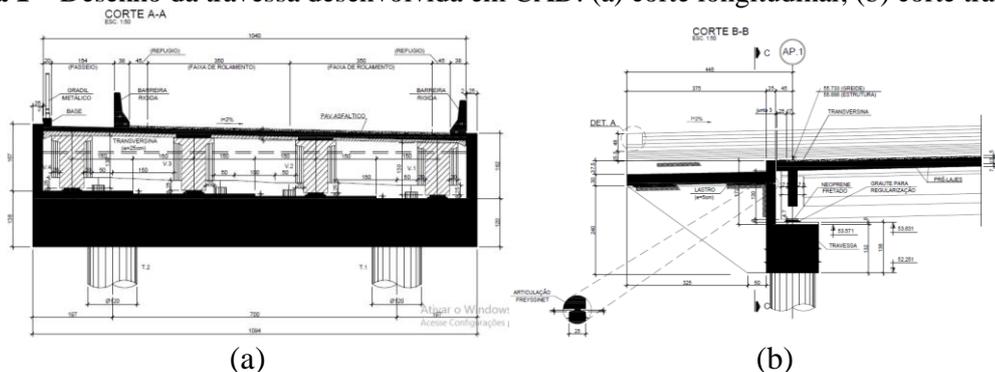
Realizada essa modelagem, exportou-se o arquivo do projeto tridimensional para o *software* Robot Structural Analysis Professional, onde foi efetuada a análise estrutural do modelo. Nesse estágio do trabalho foi explorada a interoperabilidade entre os *softwares* em uso e se os mesmos interagem de forma eficiente.

Para efeito de comparação, foi gerado um modelo estrutural semelhante ao da ponte em estudo no *software* SAP 2000, embasando a análise dos resultados apresentados pelo Robot Structural Analysis Professional.

Resultados e Discussão

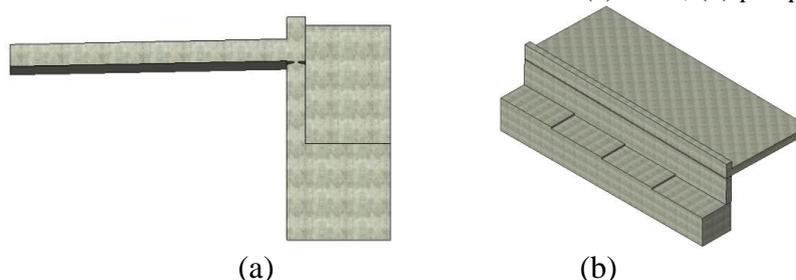
Para recriar o modelo tridimensional da ponte em estudo, o primeiro passo foi o modelamento dos elementos estruturais apresentados no projeto original no *software* Revit, seguindo as mesmas dimensões especificadas, onde foi utilizada a ferramenta de criação de famílias (grupos de elementos com propriedades em comum). A Figura 1 apresenta o desenho da travessa realizado em CAD e, a Figura 2, o modelo dessa mesma travessa recriado em Revit.

Figura 1 – Desenho da travessa desenvolvida em CAD: (a) corte longitudinal; (b) corte transversal



Fonte: Autor

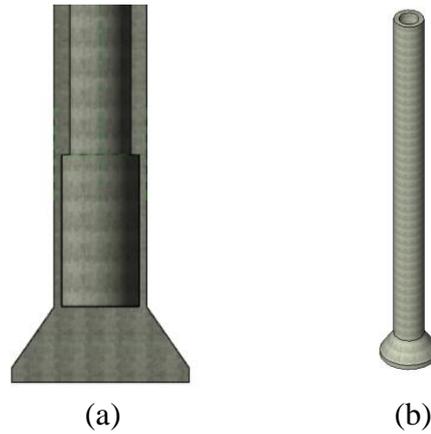
Figura 2 – Elemento de travessa modelado no Revit: (a) corte; (b) perspectiva



Fonte: Autor

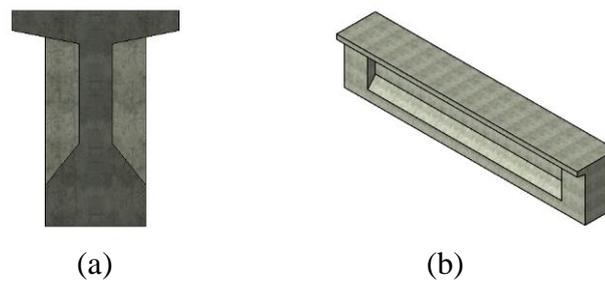
Foram modeladas também as famílias dos tubulões (Figura 3), das longarinas (Figura 4) e das pré-lajes (Figura 5).

Figura 3 – Elemento de tubulão modelado no Revit: (a) corte; (b) perspectiva



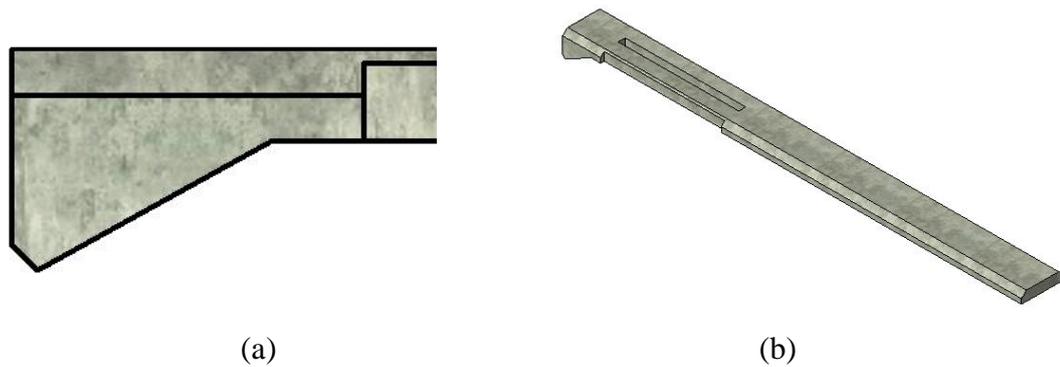
Fonte: Autor

Figura 4 – Elemento de longarina modelado no Revit: (a) corte; (b) perspectiva



Fonte: Autor

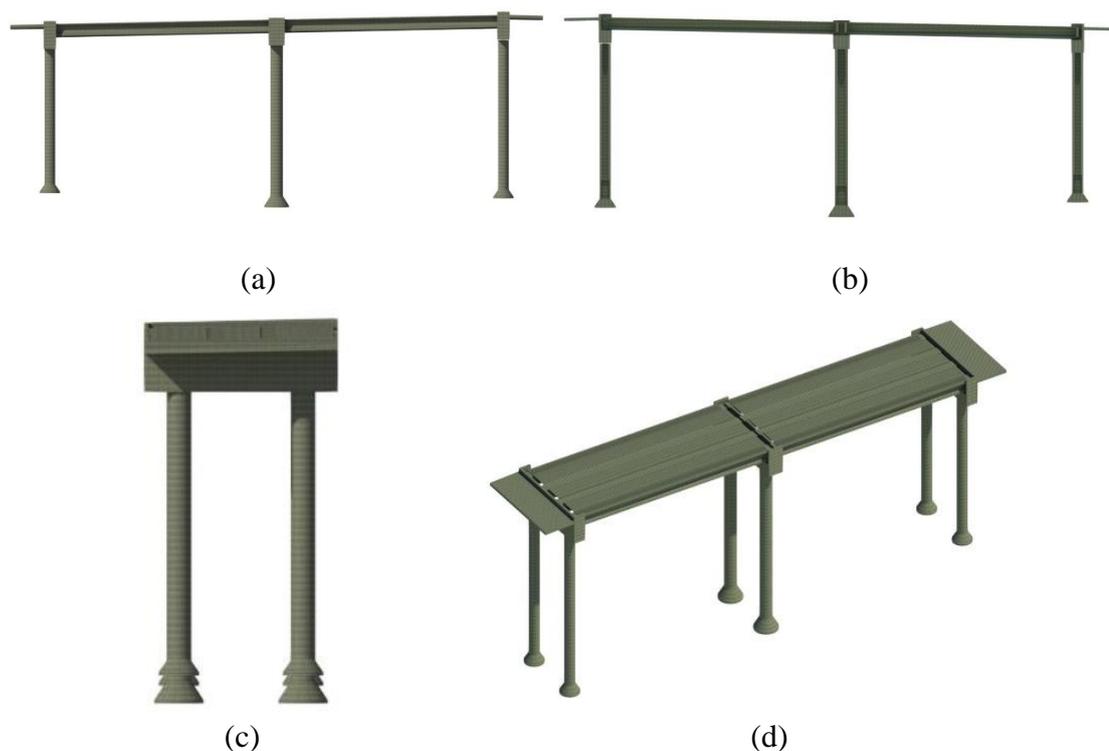
Figura 5 – Elemento de pré-laje modelado no Revit: (a) corte; (b) perspectiva



Fonte: Autor

Após a modelagem de todas as peças necessárias para o projeto estrutural da ponte em estudo, as mesmas foram posicionadas como especificado no projeto base. A Figura 6 mostra os elementos estruturais em suas devidas posições, incluindo vista, cortes e perspectiva.

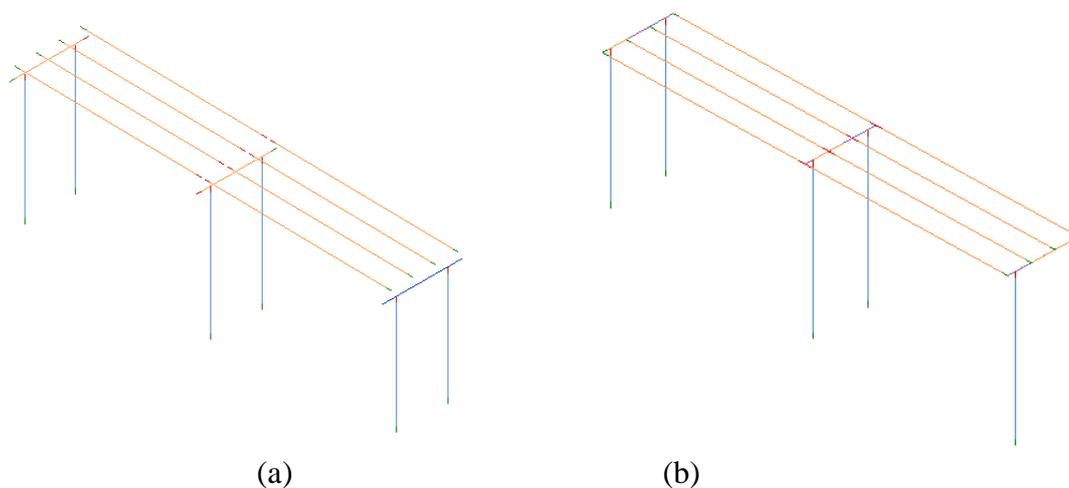
Figura 6 – Elementos estruturais posicionados: (a) vista longitudinal; (b) corte longitudinal; (c) corte transversal; (d) perspectiva



Fonte: Autor

Depois do posicionamento adequado dos modelos estruturais, foi possível abrir a aba de linhas analíticas do Revit, onde pode-se visualizar o comportamento estrutural dos elementos de barras e de colunas. Observa-se na Figura 7 que os nós referentes às extremidades dos elementos modelados não se encontram perfeitamente posicionados, porém esse é um problema que pode ser facilmente resolvido. Para isso, basta aproximá-los com a ferramenta de movimentação de nós de linhas analíticas do Revit.

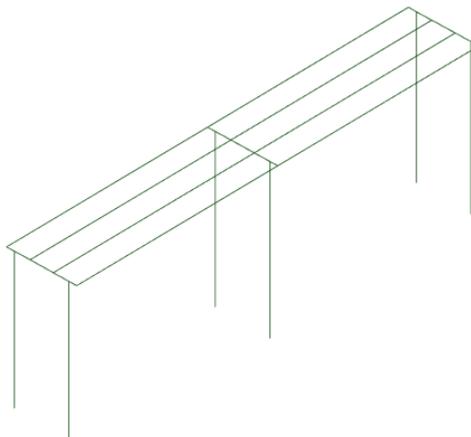
Figura 7 – Linhas analíticas estruturais geradas no Revit: (a) sem ajuste dos nós; (b) com ajuste dos nós



Fonte: Autor

Com as linhas analíticas estruturais geradas pelo Revit, é possível exportar facilmente o arquivo contendo o modelo para o *software* de análise estrutural Robot Sctructural Analysis Professional.

Figura 8 – Modelo exportado para o *software Robot Structural Analysis Professional*

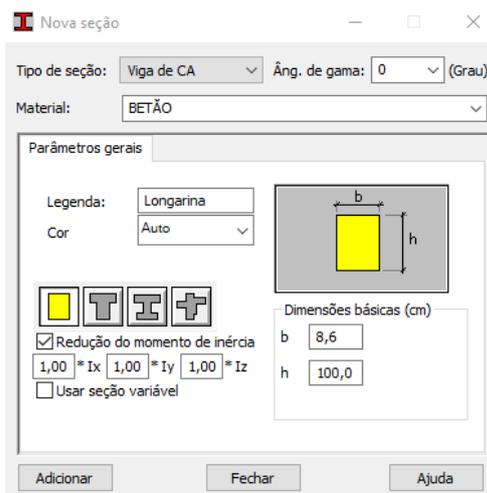


Fonte: Autor

Durante o processo de modelagem das famílias pôde-se perceber uma substancial diferença entre os modelos de projeto CAD e BIM. Ao desenvolver uma peça de importância para o projeto no *software Revit*, a mesma pode ter suas dimensões livremente alteradas e suas vistas e cortes podem ser gerados facilmente de quaisquer ângulos, poupando um tempo que, em um projeto feito em CAD, seria gasto desenhando a mesma peça em diferentes vistas e cortes mais de uma vez.

Assim que o modelo é exportado para o Robot Structural Analysis Professional a análise estrutural ainda não pode ser realizada, pois necessita de alguns ajustes prévios. Nota-se que as áreas das seções definidas anteriormente, durante o modelamento dos elementos estruturais, não são exportadas para o novo *software* em uso, impondo a necessidade de, novamente, inserir dados referentes ao projeto, promovendo um retrabalho. A Figura 9 apresenta as opções de entrada de dados referentes a seção dos elementos estruturais.

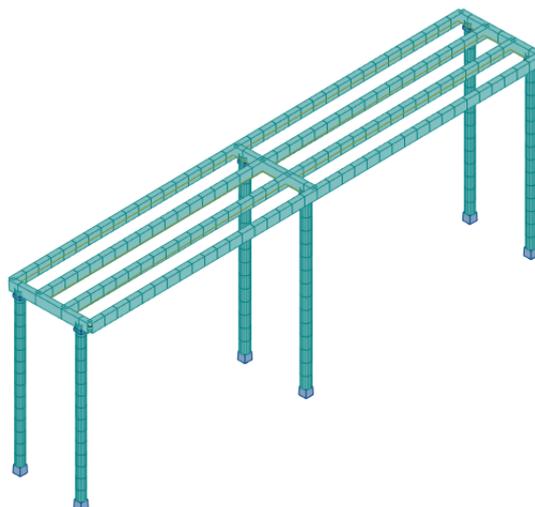
Figura 9 – Definição da área das seções das longarinas



Fonte: Autor

É possível perceber que, entre as opções de seção apresentadas pelo *software* em uso, nenhuma se encaixa perfeitamente com a seção da longarina em estudo. Isso implica em uma adaptação das dimensões da mesma e, para efeito de cálculo, foi mantida a área da seção transversal original sem levar em consideração os momentos de inércia calculados, uma vez que os mesmos podem ser facilmente alterados posteriormente. O modelo final apresentado na Figura 10 mostra os elementos estruturais com suas geometrias dimensionadas.

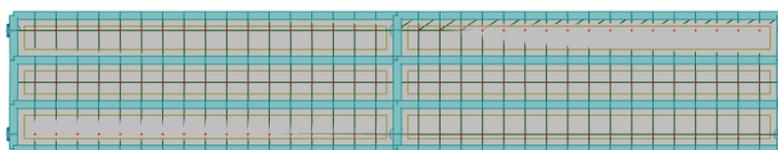
Figura 10 – Elementos estruturais com geometria dimensionada



Fonte: Autor

Após o dimensionamento das seções dos elementos estruturais, foi necessário posicionar as pré-lajes entre as longarinas de maneira a gerar uma malha de elementos finitos, como pode ser visto na Figura 11. Com isso, os cálculos da análise estrutural puderam ser realizados.

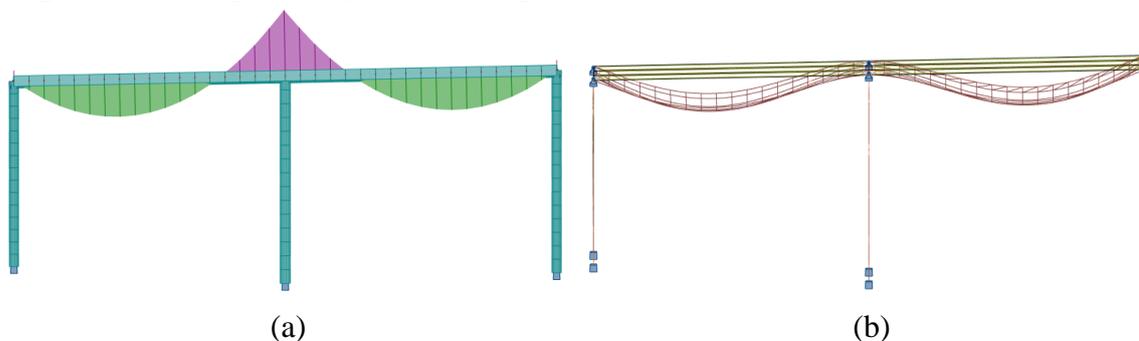
Figura 11 – Ponte em planta mostrando a pré-laje dividida em malha de elementos finitos



Fonte: Autor

Dimensionados e alocados todos os elementos estruturais, foi possível então realizar os cálculos estruturais e, assim que esses são finalizados, o *software* exibe opções de apresentação de diagramas de esforços solicitantes e deslocamentos presentes na estrutura, como pode ser visto na Figura 12. Para uma melhor visualização da deformada da estrutura foram ocultadas as geometrias dos elementos estruturais.

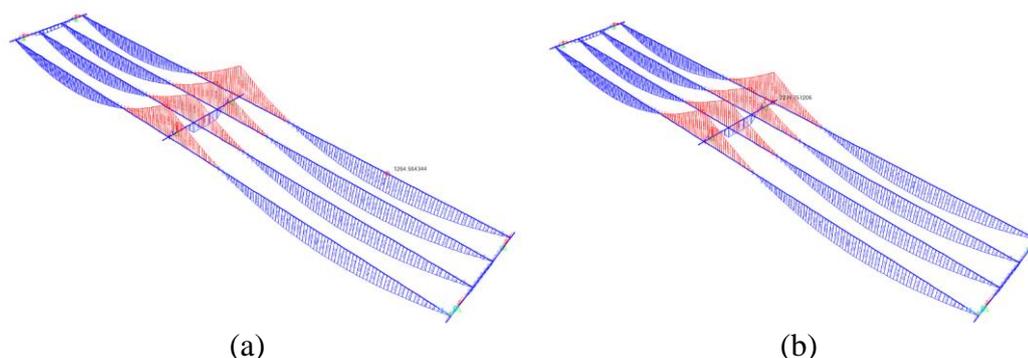
Figura 12 – Exibições do *software*: (a) diagrama de momento fletor; (b) deformada da estrutura



Fonte: Autor

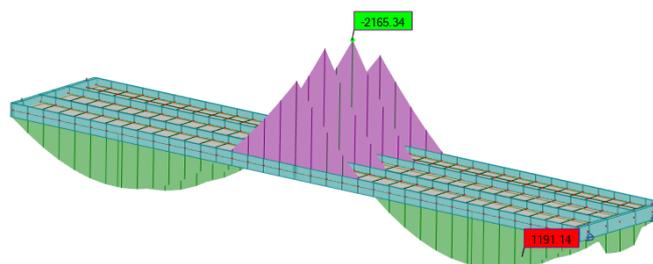
Os resultados dos momentos fletores máximo e mínimo apresentados na análise estrutural realizada (Figura 14) foram comparados com resultados obtidos em um modelo semelhante gerado no *software* SAP 2000, apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Resultados obtidos no *software* SAP 2000: (a) momento fletor máximo; (b) momento fletor mínimo



Fonte: Autor

Figura 14 – Momentos máximo e mínimo obtidos no *software* Robot Structural Analysis Professional



Fonte: Autor

Os momentos máximo e mínimo obtidos no SAP 2000 foram, respectivamente, $1264,56 \text{ kN.m}$ e $2239,75 \text{ kN.m}$ e um pequeno erro é notado ao comparar esses resultados com os obtidos no Robot Structural Analysis Professional (cujos valores respectivos encontrados foram $1191,14 \text{ kN.m}$ e $2155,34 \text{ kN.m}$). Essa pequena discrepância ocorre devido a uma inclinação de 2% existente no modelo em estudo que não foi reproduzida no modelo gerado pelo SAP 2000.

Conclusões

O modelo em Revit apresentou diversas vantagens quando comparado com um projeto executado através de uma ferramenta CAD. Apesar de requerer um maior trabalho para a fase inicial do projeto, sua facilidade em tratar peças de um todo individualmente, podendo editá-las a qualquer momento, realizar correções rapidamente e visualizá-las sob qualquer ângulo é uma característica de grande relevância para embasar uma comparação entre os modelos CAD e BIM.

Apesar dos recentes avanços da plataforma BIM, em se tratando da modelagem estrutural de uma ponte, nota-se uma carência de famílias previamente disponibilizadas pelo *software* em uso, impondo o trabalho maior de modelar as peças estruturais uma a uma. Uma vez que a modelagem foi finalizada, a exportação para o *software* de análise estrutural ocorreu de forma rápida, porém não de maneira ideal, visto que informações referentes a peças estruturais tiveram que ser reinsersidas.

Referências Bibliográficas

- AZHAR, Salman; et al. **Building information modelling (BIM): now and beyond**. Construction Economics And Building, [s.l.], v. 12, n. 4, p.15-28, 15 out. 2015. University of Technology, Sydney (UTS).
- FOCHEZATTO, Adelar; GHINIS, Cristiano Ponzoni. **Determinantes do crescimento da construção civil no Brasil e no Rio Grande do Sul: evidências da análise de dados em painel**. Ensaios FEE, Porto Alegre, p.648-678, jun. 2011
- HERR, Christiane M.; FISCHER, Thomas. **BIM adoption across the Chinese AEC industries: An extended BIM adoption model**. Journal Of Computational Design And Engineering, [s.l.], v. 6, n. 2, p.173-178, abr. 2019. Elsevier BV.
- MAIA, Lino; et al. **BIM Methodology, a New Approach - Case Study of Structural Elements Creation**. Procedia Engineering, [s.l.], v. 114, p.816-823, 2015. Elsevier BV.
- MIETTINEN, Reijo; PAAVOLA, Sami. **Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling**. Automation In Construction, [s.l.], v. 43, n. 1, jul. 2014. Elsevier BV.
- NOGUEIRA, Barbara Rodrigues; et al. **Análise dinâmica de pontes para conservação e manutenção da estrutura com o auxílio de um dispositivo móvel**. 2018. 109 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2018.