

# BENEFÍCIOS DO USO DA METODOLOGIA BIM NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS ESTRUTURAIS

## BENEFITS OF USING BIM METHODOLOGY IN STRUCTURAL PROJECT DESIGN

JESSICA FERNANDES GURGATZ<sup>1</sup>, RAFAEL ANTÔNIO MAGALHÃES RIGONI<sup>2\*</sup>

1. Acadêmica do curso de pós-graduação do curso Engenharia Digital e Tecnologia BIM pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2. Professor do curso de pós-graduação do curso Engenharia Digital e Tecnologia BIM pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

\* Av. dos Pioneiros, 3131, Jardim Morumbi, Londrina, Paraná, Brasil. CEP: 86036-370. [rafaelrigoni@gmail.com](mailto:rafaelrigoni@gmail.com)

Recebido em 24/10/2023. Aceito para publicação em 03/11/2023

### RESUMO

O estudo analisa os benefícios do uso da metodologia BIM (*Building Information Modeling*) no desenvolvimento de projetos estruturais a partir de estudos de caso sobre a implementação da metodologia em três empresas visando melhorias operacionais. A *Sweco* buscou reduzir custos ao criar um projeto estrutural em BIM sem a necessidade de desenhos impressos. A *KD&A* focou em otimizar o fluxo de trabalho para atender à sua demanda. Enquanto a *Rotesma* buscou maior industrialização dos seus processos. A eficiência e produtividade tendem a crescer à medida que as empresas ganham experiência com o BIM. A interoperabilidade dos softwares utilizados e a automação de processos são fundamentais. A comunicação e colaboração entre as equipes também desempenham um papel crucial. O estudo ressalta que o BIM não é apenas uma ferramenta tecnológica, mas uma abordagem transformadora que redefine a forma como as empresas concebem projetos estruturais. Adotar o BIM não só resulta em vantagens imediatas, mas também confere uma vantagem competitiva significativa no mercado de engenharia.

**PALAVRAS-CHAVE:** BIM, projeto estrutural, produtividade.

### ABSTRACT

The study analyses the benefits of using BIM (*Building Information Modeling*) methodology in structural project design based on case studies about implementing BIM in two companies to improve operations. *Sweco* sought to reduce costs by designing a structural project in BIM without the need for printed drawings. *KD&A* focused on optimizing the workflow to meet its demand. While *Rotesma* sought industrializing processes. Efficiency and productivity tend to grow as companies gain experience with BIM. Software interoperability and process automation are fundamental. Communication and collaboration between teams also play a crucial role. The study highlights that BIM is not just a technological tool but a transformative approach that redefines how companies design structural projects. Adopting BIM not only results in immediate advantages but also provides a significant competitive advantage in the engineering market.

**KEYWORDS:** BIM, structural project, productivity.

### 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais se tem incorporado nos edifícios um senso estético e os projetos arquitetônicos estão cada vez mais arrojadas. As edificações estão cada vez mais complexas e vem sendo criadas para diversos usos, como indústrias, grandes shoppings, hospitais, *data centers*, condomínios de luxo e grandes obras de infraestrutura. São obras caras para construir e manter, e devem ser constantemente supervisionados para funcionarem de forma eficaz ao longo do seu ciclo de vida. Consequentemente, são necessários projetos mais complexos, que envolvem diversas disciplinas e possuem muitas informações. Por isso é necessário um ambiente integrativo de trabalho para permitir que a troca de dados seja eficiente entre os projetistas. O BIM (do inglês *Building Information Modeling*), sigla para Modelagem da informação da construção, permite isso<sup>1</sup>.

O BIM é uma metodologia que vem revolucionando a indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) ao introduzir uma abordagem mais integrada, colaborativa e digitalizada para projetos, construções e gestão de edifícios e infraestruturas. Com esta tecnologia, modelos virtuais precisos de uma edificação são construídos de forma digital. Esses modelos oferecem suporte a todas as fases de projeto, proporcionando análise e controle melhores do que são possíveis com os processos manuais<sup>2</sup>.

O BIM pode ser utilizado em todas as disciplinas de um projeto de engenharia civil e arquitetura, como por exemplo em projetos estruturais. A engenharia estrutural é essencial no projeto de um edifício e o engenheiro estrutural é responsável por encontrar soluções seguras, sustentáveis e duráveis para o uso eficiente de elementos estruturais e matéria is.

O BIM tem o potencial de fornecer soluções para as questões relacionadas a ligação conceitual e integração entre os princípios de engenharia arquitetônica e estrutural. É um processo que muda fundamentalmente o papel da computação no projeto estrutural, criando um banco de dados dos objetos de construção a serem usados em todos os aspectos da estrutura, desde o projeto até a construção, operação e manutenção<sup>1</sup>.

A aplicação desta metodologia em projetos gera melhorias na colaboração e coordenação, permite a detecção precoce de problemas, ajuda a reduzir erros, conflitos e muitas vezes retrabalhos, otimiza o processo de projetar, gera redução de custos e permite automação de processos.

Este trabalho irá explorar os benefícios do uso da metodologia BIM na elaboração de projetos estruturais. Será feita a análise de três estudos de caso e apresentado discussões a partir dos resultados obtidos pelos autores pesquisados.

### Definição e conceituação de BIM

Antes do surgimento do CAD na década de 80, os projetos eram desenvolvidos em pranchetas, com desenhos e cálculos feitos a mão. A tecnologia CAD ofereceu recursos como ferramentas de automação de desenho e projeto utilizando o computador. Sendo necessária a adaptação ao uso do computador por meio dos profissionais<sup>3</sup>. Essa grande inovação trouxe benefícios imediatos aos usuários. A possibilidade de fazer lançamentos estruturais e desenhos 2D em menos tempo aumentaram a produtividade.

Os sistemas CAD geram arquivos digitais que consistem principalmente em vetores, tipos de linhas associados e identificação de camadas (*layers*). À medida que esses sistemas foram se desenvolvendo houve a introdução da modelagem 3D, e foram adicionadas definições avançadas de geometria e ferramentas complexas de geração de superfícies. Os softwares 3D possibilitaram uma visualização precisa do que estava sendo projetado e com o avanço dos sistemas CAD mais usuários desejaram compartilhar dados associados a um projeto<sup>2</sup>. Daí surgiu a necessidade de um modelo de construção virtual que possuísse informações além da geometria, sendo criado o BIM.

O BIM é definido por Sacks *et al.* (2021)<sup>2</sup> como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Um modelo de construção é caracterizado por componentes de construção que são representados por objetos. Tais objetos levam consigo atributos gráficos e de dados computáveis que os identificam para aplicativos de software, bem como regras paramétricas que permitem os dados e atributos serem manipulados de forma inteligente. Essas regras permitem a modelagem paramétrica, que são um conjunto de algoritmos pré-definidos inseridos nos softwares para criação de um modelo digital com informações geométricas e semânticas, que simulam virtualmente um modelo de construção.

O processo BIM oferece suporte para a criação de dados inteligentes que podem ser usados em todo o ciclo de vida de um projeto desde o planejamento, projeto, construção e operação. Há inúmeros benefícios que o BIM traz para cada etapa do ciclo de vida de um projeto. O BIM permite a visualização antecipada e mais precisa de um projeto com o desenvolvimento de

maquetes eletrônicas, extração automática das quantidades dos componentes, identificação de interferências geométricas e funcionais, geração de documentos mais consistentes, análises de construtibilidade, registro e controle visual de diferentes versões dos modelos e colaboração entre diferentes disciplinas de projeto (CBIC)<sup>4</sup>.

Uma construção envolve uma variedade de conhecimentos específicos de arquitetura e engenharia, por isso os projetos são divididos em disciplinas. Dentro dos projetos de engenharia, temos projeto estrutural, projeto de instalações hidráulicas, instalações elétricas etc. Cada disciplina possui o seu modelo virtual, que quando combinado com as demais disciplinas, gera o modelo federado. O modelo federado é o modelo de construção virtual que possui todas as informações necessárias para a construção e operação do edifício.

### Evolução do BIM na engenharia de estruturas

A engenharia de estruturas é responsável por projetar sistemas estruturais complexos. Para isso deve encontrar soluções eficientes para oferecer sistemas estruturais seguros, sustentáveis e duráveis.

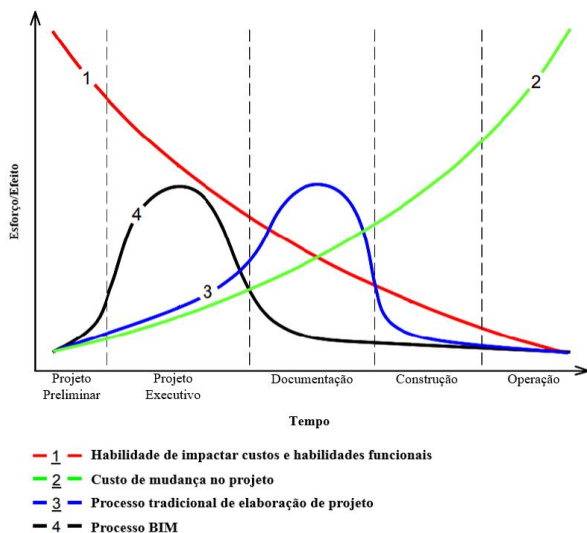
De acordo com Vilitiene *et al.*, (2019)<sup>5</sup> o engenheiro estrutural possui outras responsabilidades além de projetar, como supervisionar as atividades de execução de estruturas no canteiro de obras ou então na fabricação de estruturas pré-moldadas. A complexidade destas atividades requer a combinação de muitas competências, e a abundância de canais de comunicação se faz necessário uma plataforma confiável de troca de dados. O BIM é um processo que fornece ferramentas para o engenheiro estrutural trabalhar com mais confiabilidade.

O uso de modelagem e visualização 3D não é algo novo na engenharia estrutural. A diferença é que com o método tradicional, os processos de projetar, simular, analisar e desenhar são todos desconectados. Com o uso da metodologia BIM esses processos devem ser conectados entre si em um fluxo de trabalho colaborativo. Para a concepção de um projeto estrutural é necessário um projeto arquitetônico, pois a partir dele será concebida a estrutura necessária. Independente do sistema estrutural utilizado, o fluxo para projetar uma estrutura inclui integração com outras disciplinas. Por isso o engenheiro estrutural deve estar integrado com o arquiteto e demais engenheiros para criar uma estrutura compatível com a arquitetura idealizada e com os demais sistemas integrados a edificação.

O engenheiro estrutural pode aproveitar o BIM de diversas maneiras, à medida que o modelo pode ser constantemente atualizado com as alterações de projeto e especificações, mantendo todas as informações precisas. O BIM transformou a forma como trabalhamos e visualizamos os elementos de uma construção, e isto impactou de forma direta o desenvolvimento de atividades como concepção e análise estrutural. A possibilidade de o engenheiro conseguir visualizar o modelo de edificação por

completo o ajuda a identificar potenciais erros de modelagem e concepção estrutural, permitindo o engenheiro criar maneiras de resolver um problema. Esta metodologia permite a redução de erros de modelagem e desenho, e com isso fornece um custo mais baixo de produção de projetos e pode aumentar a produtividade<sup>6</sup>.

O método tradicional de projetar estruturas consiste em um processo que começa com o projeto preliminar, onde a preconcepção e o pré-dimensionamento da estrutura são feitos, a seguir é feita a análise estrutural e o dimensionamento que é o projeto executivo, e então segue para a documentação. Cada passo é completado antes de o próximo se iniciar e a colaboração entre disciplinas é muito limitada. Este processo funciona bem até que alterações inevitáveis de projeto precisem ser feitas. Com isso, são necessárias atualizações feitas de forma manual, que são demoradas e propensas a erros. Por isso esse processo apresenta limitações práticas<sup>6</sup>.



**Figura 1.** Nível de esforço necessário para execução de projetos. Fonte: CURT, 2004<sup>7</sup>

O gráfico apresentado na Figura 1 mostra o nível de esforço necessário ao longo do ciclo de vida do projeto, desde a etapa do projeto preliminar até a construção e operação. Como mostra a linha 1, a habilidade do engenheiro civil de impactar o custo e a performance do projeto durante o seu ciclo de vida, é máxima durante a execução do projeto preliminar. A linha 2 mostra como o custo de fazer alterações no projeto é baixo durante o projeto preliminar, mas aumenta acentuadamente durante a etapa de documentação, onde a análise estrutural já está finalizada e o projeto executivo e detalhamento definidos.

A linha 3 mostra onde os engenheiros gastam mais recursos e esforço durante a execução de um projeto tradicional em 2D, que é durante a etapa de documentação. E o problema apresentado aqui é que o pico de esforço necessário durante um projeto tradicional coincide com o ponto do projeto onde a habilidade do engenheiro de impactar o seu custo e performance está em declínio (linha 1), e o custo de

alterações de projeto está aumentando (linha 2). É mais caro e trabalhoso fazer alterações no projeto estrutural quando a documentação já está em execução. De acordo com Bhusar & Akhare (2014)<sup>6</sup>, um processo centrado nos desenhos normalmente produz o primeiro dimensionamento que atende as normas, e não necessariamente um cálculo ótimo ou ideal.

A linha 4 representa o processo recomendado de elaboração de projeto, onde a metodologia BIM atende esse fluxo. Quando um modelo BIM é utilizado, tanto o modelo físico, que contém o modelo geométrico e informações, quanto o modelo analítico, que é utilizado na análise estrutural, são interconectados no mesmo local. Isso permite que o modelo seja utilizado não apenas para a análise estrutural da edificação, mas também para a produção da documentação do projeto.

Os elementos estruturais como vigas e pilares são parte do modelo físico. Além de propriedades geométricas, o modelo estrutural em BIM pode conter informações como resistência dos materiais e condições de contorno da estrutura. É possível adicionar cargas a esses elementos, associar propriedades do material e outras informações importantes necessárias para fazer uma análise estrutural. O modelo BIM pode ser então importado por um software de análise estrutural, e após a análise finalizada e modelo atualizado, ser exportado para o software de modelagem para fazer a documentação. Informações como esforços internos da estrutura e detalhamento de armaduras também são exportados. A documentação em BIM é feita utilizando o modelo 3D. Os desenhos são atualizados automaticamente quando há alguma alteração geométrica ou de informação no modelo, pois todas as informações de desenho estão conectadas ao modelo principal. Isso reduz de forma significativa o tempo de detalhamento e desenho.

De acordo com Sacks *et al.* (2021)<sup>8</sup>, o BIM reduz significativamente a quantidade de tempo necessária para produção de documentação de construção, devido a sua habilidade de automatizar formas padronizadas de detalhamento. Em um fluxo de trabalho BIM, o maior esforço ocorre durante o projeto executivo, como mostra a linha 4 no gráfico da Figura 1, diferentemente do processo tradicional de elaboração de projeto. O custo de fazer alterações no projeto nesta fase é menor. Isso tudo permite que o engenheiro gaste mais tempo fazendo e otimizando a análise estrutural e gaste menos tempo durante a documentação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo tem como objetivo apresentar os benefícios do uso da metodologia BIM na engenharia estrutural. A partir de uma revisão bibliográfica foi apresentado a metodologia BIM e como ela impacta no fluxo de execução de um projeto estrutural. Dois estudos de caso foram selecionados pelo autor para apresentar dados referentes a implantação do BIM em projetos estruturais e posterior análise de resultados.

O primeiro estudo de caso apresentado é a ponte *Randselva*, localizada na Noruega. O projeto tem



grande relevância mundial pois é a maior ponte projetada com a metodologia BIM sem a produção de desenhos 2D impressos.

O segundo estudo de caso é o complexo residencial *Eagle Ridge Residential Development* localizado em Alberta, Canadá. Este projeto se destaca pela eficiência operacional alcançada pelos projetistas estruturais ao utilizar um software BIM para o detalhamento de estruturas pré-moldadas.

O terceiro estudo de caso é o parque fabril da Biamar Malhas e Confecções, localizado em Farroupilha, no Rio Grande do Sul. Uma obra que se destaca por ter utilizado o BIM desde o orçamento da estrutura, até o projeto e execução.

Após a apresentação dos estudos de caso o autor apresenta uma discussão e análise acerca dos benefícios adquiridos pelas empresas ao utilizar a metodologia BIM nos projetos estruturais.

### 3. DESENVOLVIMENTO

Para apresentar os benefícios do uso da metodologia BIM em projetos estruturais, dois casos de estudo são apresentados. O primeiro é a ponte *Randselva* desenvolvido pela empresa sueca *Sweco*. O segundo é o complexo residencial *Eagle Ridge Residential Development* desenvolvido pela empresa canadense de consultoria e projetos estruturais, *Kassian Dyck & Associates* (KD&A). O terceiro é o parque fabril da Biamar Malhas e Confecções, desenvolvido pela empresa brasileira Rotesma.

#### Ponte *Randselva*, Jevnaker, Noruega

A ponte *Randselva* (Figura 2) se estende por 643 metros e foi construída em concreto protendido com os tabuleiros em viga-caixão em 2021. A ponte com maior comprimento do mundo já projetada em BIM sem a produção de desenhos impressos em 2D. Ao invés de utilizar o método tradicional de apresentação de documentação 2D com plantas e seções, a empresa *Sweco* desenvolveu um modelo BIM contendo 300.000 componentes e todas as informações necessárias para executar o projeto (Tekla, 2020)<sup>8</sup>.



Figura 2: Modelo virtual da ponte *Randselva*. Fonte: Sweco, 2023<sup>9</sup>

Um dos grandes desafios deste projeto foi a geometria esbelta da ponte. Algumas áreas apresentaram grande densidade de armadura, e os

engenheiros decidiram usar os princípios do design paramétrico. O projeto contém mais de 200.000 armaduras, mais de 200 cabos de protensão e mais de 200 fases de concretagem (Figura 3). Cada elemento do modelo continha mais de 50 atributos de informação que foram gerenciados de forma mais confiável em um software BIM (Sweco, 2022)<sup>9</sup>.

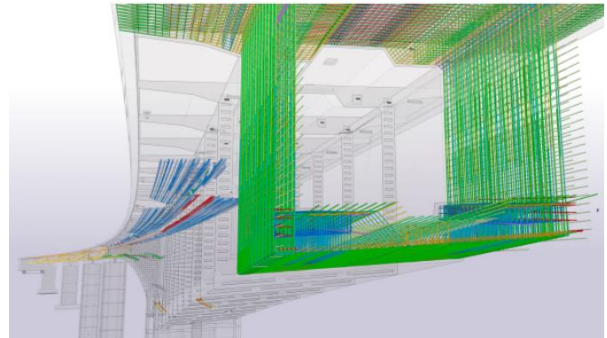


Figura 3: Modelo 3D de detalhamento de armaduras. Fonte: Berg, 2022<sup>10</sup>

Três fatores foram necessários para que o modelo 3D pudesse ser utilizado na construção sem a apresentação de documentação 2D. O primeiro foi que todos os elementos do modelo compartilhassem do mesmo padrão de atributos de informação. Em segundo, que o modelo precisava conter todos os elementos da construção. E por último, não poderia existir “clashes” entre os elementos, ou seja, nenhum elemento a ser construído poderia ocupar o mesmo lugar no modelo. Para isso foi definido no início do projeto o fluxo de trabalho BIM a ser adotado, como os softwares a serem utilizados por cada profissional, formatos de arquivo, atributos de informação necessários e como seria feito o controle de qualidade do modelo (Ali, 2021)<sup>11</sup>.

O projeto foi criado a partir da cooperação de quatro equipes localizadas em países diferentes (Finlândia, Dinamarca, Polônia e Noruega). O formato de arquivo utilizado foi o IFC (*Industry Foundation Classes*), que é um formato de arquivo neutro e aberto desenvolvido para permitir a interoperabilidade de dados entre os softwares em um fluxo de trabalho BIM.

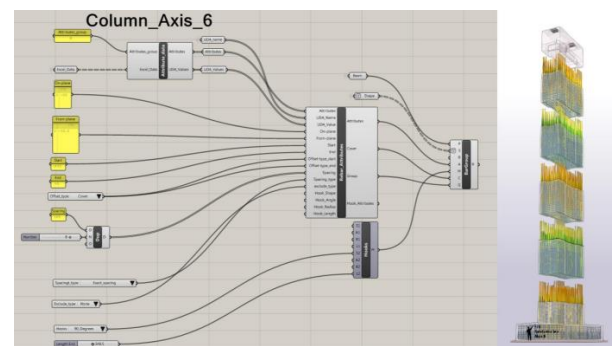


Figura 4: Código de modelagem paramétrica a partir de programação visual, e ilustração da relação entre diferentes componentes. Fonte: Ali, 2021<sup>11</sup>.

O modelo da ponte foi criado usando o software *Tekla Structure*. Os times trabalhavam de seus escritórios e em conjunto a partir de um modelo

colaborativo em nuvem. O software *Solibri* foi utilizado pela equipe de coordenação para o gerenciamento dos modelos. O software *Rhino* foi utilizado para modelagem paramétrica, a qual correspondeu a 60% da modelagem. A modelagem das armaduras e dos cabos de protensão foram feitas de forma paramétrica. A Figura 4 mostra o código utilizado para modelar as armaduras e a geometria de um pilar da ponte, feito em um software de programação visual. A direita é possível ver como o modelo se apresenta a partir de diferentes parâmetros associados (Ali, 2021)<sup>11</sup>.

A modelagem em BIM de 100% das armaduras em foi fundamental para que o processo de produção delas fosse eficiente. O processo de produção e entrega foi baseado apenas no arquivo IFC. Como toda a informação necessária para a produção estava no modelo, foi possível evitar atrasos na entrega do detalhamento, porque as tabelas de quantitativo e de corte e dobra era geradas automaticamente pelo software BIM como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Os detalhes gerados automaticamente continham todas as informações necessárias referentes a armação, como código de identificação, tipo do aço, dimensões e localização da armadura. Cada equipe na obra possuía um *tablet* para acessar e extrair as informações necessárias. Também foram instalados no local da obra grandes telas de computadores dentro de *containers* para que as equipes pudessem visualizar o projeto. As equipes também podiam se comunicar com os projetistas utilizando a plataforma de colaboração *Timble Connect* quando necessário para tirar dúvidas do projeto, debater soluções e até mesmo pedir alterações com apontamentos no modelo virtual (Tekla, 2020)<sup>8</sup>.

A verificação de interferências entre os elementos dos modelos foi feita de forma automática pelo software, o que ajudou a eliminar erros futuros e como consequência economizar tempo e dinheiro.

Armaria Formador: Fundamentor: placa 1,2 sq 3  
Standard Formador

Formado: 10, Formado: 11, Formado: 15, Formado: 21, Formado: 25, Formado: 27

Aço	Qtd	Volume	Área	Comprimento	Diâmetro	Formado	Grupo	Quantidade	Volume	Área	Comprimento	Diâmetro
Armaria	3852,0	2531,0	3852,0	25	25	20	1	540	416,25	7500	25	Armaria
Armaria	3900,0	2578,5	3900,0	25	25	20	2	570	451,50	7500	25	Armaria
Armaria	3950,0	2626,0	3950,0	25	25	20	3	600	487,50	7500	25	Armaria
Armaria	4000,0	2673,5	4000,0	25	25	20	4	630	523,50	7500	25	Armaria
Armaria	4050,0	2721,0	4050,0	25	25	20	5	660	559,50	7500	25	Armaria
Armaria	4100,0	2768,5	4100,0	25	25	20	6	690	595,50	7500	25	Armaria
Armaria	4150,0	2816,0	4150,0	25	25	20	7	720	631,50	7500	25	Armaria
Armaria	4200,0	2863,5	4200,0	25	25	20	8	750	667,50	7500	25	Armaria
Armaria	4250,0	2911,0	4250,0	25	25	20	9	780	703,50	7500	25	Armaria
Armaria	4300,0	2958,5	4300,0	25	25	20	10	810	739,50	7500	25	Armaria
Armaria	4350,0	3006,0	4350,0	25	25	20	11	840	775,50	7500	25	Armaria
Armaria	4400,0	3053,5	4400,0	25	25	20	12	870	811,50	7500	25	Armaria
Armaria	4450,0	3101,0	4450,0	25	25	20	13	900	847,50	7500	25	Armaria
Armaria	4500,0	3148,5	4500,0	25	25	20	14	930	883,50	7500	25	Armaria
Armaria	4550,0	3196,0	4550,0	25	25	20	15	960	919,50	7500	25	Armaria

Figura 5: Tabela de aço criada automaticamente a partir do modelo 3D no *Solibri*. Fonte: Ali, 2021<sup>11</sup>.

A extração de quantitativos do modelo de forma automática e precisa também reduz custos, pois

permite que apenas o necessário seja comprado e estocado no canteiro de obras, sem excessos. Com o quantitativo preciso o construtor sabe exatamente quanto de aço e concreto será necessário em cada fase da construção. A empresa *Sweco* já havia desenvolvido projetos menores seguindo este mesmo fluxo de trabalho e como resultado obtiveram uma economia de 10% comparado ao método tradicional (Berg, 2022)<sup>10</sup>.

### **Eagle Ridge Residential Development, Alberta Canadá**

O projeto *Eagle Ridge* é um complexo residencial de 22 edifícios, com torres de 4 ou 6 pavimentos, desenvolvido pela empresa canadense *Kassian Dyck & Associates* (KD&A). Os edifícios possuem fundação moldada *in loco* e garagem subterrânea. Com estrutura pré-moldada que consiste em paredes de concreto, pilares, lajes alveolares, escadas pré-moldadas, e sacadas com lajes em balanço. A Figura 6 mostra uma vista 3D do modelo estrutural da primeira fase, que consiste em um conjunto de 4 edifícios (Kaner *et al.*, 2008)<sup>12</sup>.

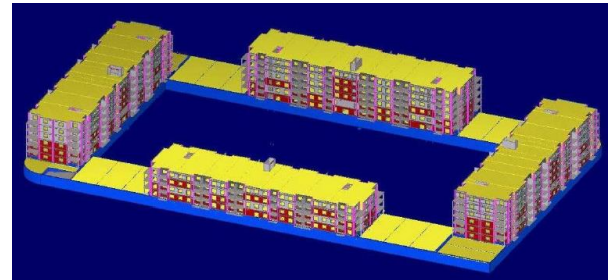
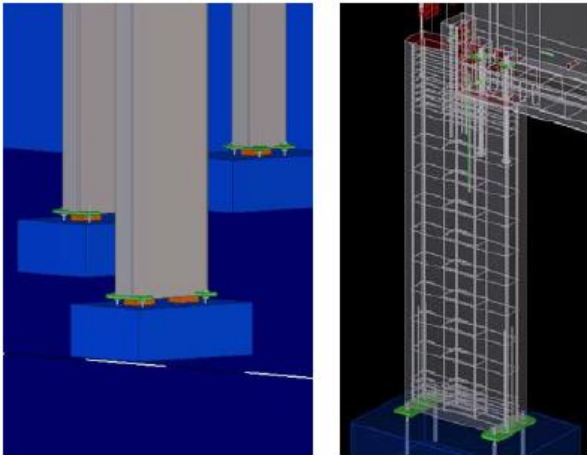


Figura 6: Modelo virtual da primeira fase do complexo residencial *Eagle Ridge*. Fonte: Kaner *et al.*, 2008<sup>12</sup>.

O grande desafio deste projeto foi o prazo curto que o cliente demandava, ele precisava que o cálculo e detalhamento das estruturas fossem feitas em um tempo relativamente curto para que fosse possível iniciar a produção das estruturas pré-moldadas rapidamente. A KD&A tinha um obstáculo que era a falta de mão de obra disponível para executar o projeto em um tempo menor que o usual, e por isso seria impossível atender a demanda do cliente de produzir toda a documentação necessária em CAD. A empresa apostou no uso da metodologia BIM para superar a dificuldade encontrada com a expectativa de ter uma maior produtividade que utilizando o método tradicional em CAD (Kaner *et al.*, 2008)<sup>12</sup>.

A modelagem e o cálculo dos edifícios foram iniciados simultaneamente, antes da finalização do projeto arquitetônico. Na primeira fase do desenvolvimento do projeto o modelo 3D foi muito importante, pois foi utilizado em reuniões com o cliente e arquitetos para revisar detalhes e interferências encontradas entre as disciplinas. As informações de construção visualizadas no modelo auxiliaram no desenvolvimento do projeto, aumentaram a velocidade de aprovações e permitiram que o fabricante das estruturas pré-moldadas visualizasse e auxiliasse no desenvolvimento do projeto da estrutura. Com isso, o projeto arquitetônico

que ainda estava em desenvolvimento já sofria ajustes de acordo com as decisões tomadas pela equipe multidisciplinar utilizando o modelo 3D (Kaner *et al.*, 2008)<sup>12</sup>.



**Figura 7:** Modelo BIM de um pilar pré-moldado com o detalhamento de armaduras em 3D do edifício *Eagle Ridge*. **Fonte:** Kaner *et al.*, 2008<sup>12</sup>.

Um software de cálculo estrutural foi utilizado por dois engenheiros, um de nível intermediário e outro sênior, para fazer as análises estruturais. A modelagem foi feita por um engenheiro familiarizado com o BIM e um assistente sem experiência utilizando o software *Tekla Structure* (Figura 7). Assim que o modelo estava completo, a documentação era criada automaticamente pelo software. Cada desenho de uma estrutura pré-moldada demorava de 5 minutos a 2 horas para ser produzido, dependendo da complexidade da peça. Em comparação com o processo tradicional, a empresa estimou que cada detalhamento em CAD de pilares, paredes estruturais ou vigas levaria em média de 4 a 8 horas para ser produzido. Em um projeto tradicional em CAD seria necessário no mínimo 3 desenhistas para criar e fazer o controle de qualidade da documentação para todo o empreendimento. Toda a documentação da estrutura pré-moldada foi criada e editada em um software BIM e enviado ao fabricante em formato PDF (Tekla, 2023)<sup>13</sup>.

Após o início da construção foram requisitadas alterações no projeto pelo cliente, arquiteto e fabricante das estruturas pré-moldadas. Elas incluíam revisão de alguns detalhamentos de armadura, deslocamento de furações para equipamentos mecânicos, e melhorias no sistema de conexão entre algumas peças para facilitar o içamento. Todas essas alterações foram feitas no modelo 3D e foram atualizadas automaticamente na documentação. A KD&A estima que neste projeto houve uma redução de 20,3% de horas de trabalho com o uso da metodologia BIM se comparado ao método tradicional de projetar. A empresa percebeu que é possível analisar potenciais conflitos e complicações no projeto com antecedência, os quais podem ser resolvidos antes da produção da documentação. A modelagem em BIM das estruturas pré-moldadas foi essencial para a qualidade da montagem *in loco*, pois reduziu a possibilidade de existir conexões

desalinhadas entre peças e conflitos geométricos (Neelamkavil & Ahamed, 2012)<sup>14</sup>.

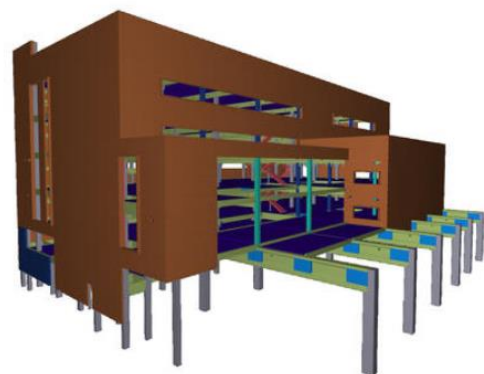
### Biamar Malhas, Farroupilha, Rio Grande Do Sul

A obra do parque fabril da Biamar Malhas e Confecções (Figura 8), em Farroupilha, no Rio Grande do Sul, conta com seis pavimentos de estrutura pré-fabricada, com área executada de 14.842 m<sup>2</sup>. A Rotesma, indústria de pré-fabricados de concreto, situada em Chapecó, Rio Grande do Sul foi a responsável por projetar e executar esta obra utilizando o BIM (Freitag)<sup>15</sup>.



**Figura 8:** Parque fabril da Biamar Malhas e Confecções, em Farroupilha, no Rio Grande do Sul. **Fonte:** Freitag<sup>15</sup>.

Na Rotesma todos os modelos têm seu início na fase de elaboração de orçamento, sendo aplicada a tecnologia BIM no início do processo, para apresentação ao cliente, e após a venda este modelo já é aproveitado para as próximas fases da vida do projeto (Tekla, 2023)<sup>16</sup>.



**Figura 9:** Modelo virtual do Parque fabril da Biamar Malhas e Confecções. **Fonte:** Tekla, 2023<sup>18</sup>.

O projeto foi feito com o uso do software Tekla, modelado e detalhado totalmente no software BIM, juntamente com o software *Plannix* (ABCIC)<sup>17</sup>. As armaduras modeladas em 3D foram todas exportadas através de arquivos BVBS, um formato de arquivo que permite exportar geometria e informações das armaduras, podendo ser integrados nas máquinas do



processo produtivo (Tekla User Assistance)<sup>18</sup>. Os detalhamentos de armaduras iam direto para o software que imprime as etiquetas para posterior corte e dobra das armaduras, eliminando a necessidade de o operador da máquina ficar "desenhando" as barras novamente (ABCIC)<sup>16</sup>. O uso de modelos 3D com as informações das peças, no nível de detalhe adequado para fabricação, auxiliou todos os departamentos a obterem as informações, nos formatos desejados e com entendimento praticamente imediato sobre o assunto. Com isso a empresa afirma que atualmente todas as áreas recebem informações dos modelos sendo em forma de lista física ou arquivo digital (Tekla, 2023)<sup>16</sup>.

O uso constante do BIM permitiu ainda que a empresa obtivesse um modelo virtual muito preciso de uma construção, com porcentagem quase nula de erros, permitindo um maior controle dos processos internos e no canteiro de obras (Figura 9). As revisões de projeto também diminuíram bastante pelo fato de haver um modelo muito preciso que permitia uma ampla inspeção visual de todos os componentes da peça. O gerenciamento das alterações melhorou em função do fácil acesso às informações do modelo (Tekla, 2023)<sup>16</sup>.

Com a compatibilização das demais disciplinas foi possível realizar a verificação de possíveis interferências, reduzindo retrabalhos antes necessários. A plataforma colaborativa permitiu que os projetistas trabalhem no mesmo projeto simultaneamente, reduzindo o tempo de desenvolvimento e proporcionando uma grande melhora no prazo de execução do projeto.

#### 4. DISCUSSÃO

Os três casos de estudo apresentam empresas que aplicaram a metodologia BIM em seus processos com o objetivo de alcançar alguma melhoria. A *Sweco* tinha como objetivo reduzir custos ao fazer um projeto BIM que permitisse não ser necessário produção de desenhos impressos. A KD&A buscava um fluxo de trabalho que aumentasse a sua produtividade para atender a demanda do cliente. A Rotesma, indústria de pré-fabricados de concreto buscava uma maior industrialização dos processos. Os objetivos foram alcançados junto com inúmeras melhorias obtidas a partir da implementação de um fluxo BIM.

O projeto da ponte *Randselva*, desenvolvido pela *Sweco*, apresentou uma economia de 10% nos custos, em comparação com o método tradicional de projetar em 2D. A KD&A desenvolveu o projeto Eagle Ridge em BIM em um tempo curto, se comparado ao método tradicional. A empresa estimou que conseguiu diminuir em 20,3% as horas de trabalho gastas neste projeto ao utilizar a metodologia BIM. A estratégia de adotar o BIM na empresa foi também baseada na suposição de que os benefícios comerciais a longo prazo eram claros e, portanto, que ser um dos primeiros a adotar essa metodologia daria à empresa uma vantagem competitiva. O BIM já é uma realidade na indústria de pré-fabricados de concreto armado, e na Rotesma tem

desempenhado um papel importante, desde o orçamento até a produção.

É importante ressaltar que a melhoria de produtividade alcançada pelas três empresas nos projetos aqui estudados é crescente. À medida que vão adquirindo maior prática com os softwares BIM, criando automatizações de processos, aprendendo novas ferramentas e aplicando melhorias nos processos, a produtividade tende a aumentar de projeto para projeto. Sendo também possível que as empresas desenvolvam projetos cada vez mais complexos e com níveis de informação altos, como aconteceu com a *Sweco*. A empresa já desenvolvia projetos pequenos em BIM, mas a ponte *Handselva* foi o primeiro desafio de um projeto grande e complexo, que exigiu um nível de detalhe e informação extremamente altos e precisos (Sweco, 2023)<sup>9</sup>.

A metodologia BIM possui três pilares que são: tecnologia, processos e pessoas. Nos dois estudos de caso foi observado a importância deles e aplicação de cada um durante o desenvolvimento do projeto. Os softwares utilizados para modelagem, análise estrutural e detalhamento continham um item fundamental para serem enquadrados em softwares BIM, que é a interoperabilidade. Assim foi possível que os modelos fossem desenvolvidos e manipulados por diferentes profissionais em vários softwares, cada qual com o seu objetivo de uso, seja para análise estrutural, modelagem ou coordenação. A automação de processos dentro dos softwares BIM gerou um aumento de produtividade, como a geração e atualização de desenhos e informações como quantitativos de materiais, como vimos no caso da empresa KD&A. O BIM permite que a tecnologia seja aliada ao processo em diferentes etapas, e está em constante mudança e avanço. Cada dia surgem novos *plug-ins*, softwares e atualizações com ferramentas mais produtivas e que permitem aumentar a qualidade dos projetos, pois o tempo que os profissionais levavam com atividades manuais e que agora podem ser automatizadas, agora podem ser utilizados nas análises estruturais. Também podemos afirmar que o design paramétrico diminui as chances de acontecerem erros humanos em projetos. Os algoritmos criados permitem que o profissional tenha um controle de qualidade maior e evitam erros que muitas vezes passam despercebidos em modelagens, levantamento de quantitativos e detalhamentos de projeto. A tecnologia também está presente nos canteiros de obra, como na construção da ponte *Handselva*. Onde as equipes podiam acessar os projetos e ver detalhes em 3D em *tablets*, receber projetos atualizados e até se comunicar com os stakeholders por meio de ambientes virtuais colaborativos onde todas as informações do projeto estão reunidas.

O fluxo BIM de projetar é muito diferente do método tradicional. Por isso, processos é um dos pilares dessa metodologia. Para um fluxo BIM funcionar é necessário que existam processos mapeados para serem seguidos por todos os

profissionais envolvidos no projeto. Um exemplo, é o uso do arquivo de formato aberto e neutro IFC. O processo de exportar e importar esse arquivo deve ser seguido de forma correta por todos os profissionais, contendo as informações necessárias e definidas no início do projeto. Como foi apresentado no estudo de caso da *Sweco* e *Rotesma*, onde os engenheiros precisavam gerar arquivos com todas as informações necessárias para a produção das armaduras. O fluxo de trabalho também deve ser bem definido e mapeado, para que cada profissional saiba das suas responsabilidades e colabore com o desenvolvimento do projeto.

A colaboração entre todos os envolvidos no projeto é de extrema importância. Como todos irão trabalhar no mesmo ambiente de dados colaborativos dentro do mesmo modelo é imprescindível a comunicação. No projeto da ponte *Handselva* havia profissionais em diferentes lugares do mundo trabalhando em conjunto e ao mesmo tempo em um ambiente colaborativo. O processo de checagem de interferência entre modelos de diferentes disciplinas normalmente envolve muitas pessoas que devem encontrar soluções em conjunto para resolver interferências. A comunicação entre equipes no início do projeto da *KD&A* foi extremamente importante, pois conseguiram evitar futuras interferências entre projetos e permitir que o fabricante das estruturas pré-moldadas ajudasse no desenvolvimento do projeto estrutural.

A metodologia BIM oferece aos projetistas estruturais diversas ferramentas que ajudam a melhorar os processos internos da empresa, a produtividade e a qualidade dos projetos. Isso traz inúmeros benefícios a curto e longo prazo, e que tornam a empresa mais competitiva no mercado.

## 5. CONCLUSÃO

O BIM é uma tecnologia de modelagem que vai além da representação gráfica, permitindo a associação de dados computacionais e atributos inteligentes aos componentes de uma construção. A metodologia BIM (*Building Information Modeling*) surge como uma ferramenta fundamental para o aprimoramento do trabalho do engenheiro estrutural. O BIM proporciona uma abordagem integrada e colaborativa, conectando os processos de projeto, simulação, análise e documentação de forma fluida. A integração entre disciplinas, especialmente a colaboração entre engenheiros estruturais e arquitetos, é fundamental para criar estruturas compatíveis com a visão arquitetônica e demais sistemas integrados à edificação.

Os casos de estudo apresentados demonstram de maneira clara os benefícios e impactos positivos que a implementação da metodologia BIM trouxe para as empresas envolvidas. A *Sweco*, *KD&A* e *Rotesma* alcançaram seus objetivos iniciais, seja na redução de custos e eliminação da produção de desenhos impressos, como no aumento significativo de produtividade. Além das metas primárias, os projetos em questão resultaram em melhorias substanciais. A

economia de 10% nos custos do projeto da ponte *Randselva*, e a redução de 20,3% nas horas de trabalho no projeto *Eagle Ridge* da *KD&A* em comparação com o método tradicional, são exemplos tangíveis desses benefícios. Essas conquistas não apenas validam a estratégia de adoção do BIM, mas também ressaltam o potencial de longo prazo dessa metodologia. O uso do BIM não apenas otimizou a fase de elaboração de orçamento, mas também proporcionou uma base sólida para as fases subsequentes do projeto, evidenciando a eficiência da abordagem adotada pela *Rotesma*. A exportação das armaduras em 3D através de arquivos *BVBS* representou um salto significativo na integração entre o modelo virtual e o processo produtivo real, eliminando redundâncias e aumentando a eficiência.

A metodologia BIM, ao proporcionar uma variedade de ferramentas que aprimoram os processos internos e a qualidade dos projetos estruturais, posiciona as empresas que a adotam em uma vantajosa posição competitiva. Os benefícios a curto e longo prazo resultantes dessa implementação tornam-se uma parte integrante do sucesso e crescimento das organizações no mercado atual.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio na produção do artigo.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Nawari O, Kuenstle M. *Building Information Modeling: Framework for Structural Design*. 1ª ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2015.
- [2] Sacks R, Eastman C, Lee G, et al. *Manual de BIM: Um guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadoras*. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.
- [3] Scheer S, Ito A, Ayres C, et al. *Impactos do uso do sistema CAD geométrico e do sistema CAD-BIM no processo de projeto em escritórios de arquitetura*. 2007.
- [4] *Fundamentos BIM - Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras*. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Coletânea implementação do BIM para construtoras e incorporadoras v.1. Brasília: CBIC, 2016.
- [5] Vilutiene T, Kalibatiene D, Hosseini M, et al. *Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering: A Bibliometric Analysis of the Literature*. *Advances in Civil Engineering*. v.19, 2019.
- [6] Bhusae A, Akhare A. *Application of BIM in Structural Engineering*. *SSRG International Journal of Civil Engineering*. v.1, 2014.
- [7] CURT. *Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation*. Architectural/Engineering Productivity Committee of The Construction Users Roundtable. WP-1202. 2004.
- [8] Tekla. *Randselva Bridge: Closing the Gap on Drawing-Free Design*. 2020 [acesso 12 set. 2023] Disponível em: <https://www.tekla.com/resources/case-studies/randselva-bridge-closing-the-gap-on-drawing-free-design>



- [9] Sweco. Drawing-free bridge project in Norway. 2023 [acesso 12 set. 2023] Disponível em: <https://www.sweco.fi/en/projects/drawing-free-bridge-project-in-norway/>
- [10] Berg N. Fast Company. The 2,000-foot bridge was constructed without a single drawing. 2022. [acesso 12 set. 2023] Disponível em: <https://www.fastcompany.com/90761934/the-2000-foot-bridge-was-constructed-without-a-single-drawing>
- [11] Ali A. Precast Concrete Fabrication Process Improvement Through BIM-Based Paperless System Implementation. [tese] Berlim: Berlin University of Applied Sciences. 2021.
- [12] Kaner I, Sacks R, Kassian W, Quitt T. Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms. ITcon. vol. 13. 2008.
- [13] Tekla. Eagle Ridge Residential Development - Um projeto de concreto pré-moldado para fabricação utilizando completamente o software BIM Tekla. 2023 [acesso 15 set. 2023] Disponível em: <https://www.tekla.com/br/recursos/not%C3%ADcias/eagle-ridge-residential-development-um-projeto-de-concreto-pr%C3%A9-moldado--para-fabrica%C3%A7%C3%A3o-utilizando-completamente-o-software-bim-tekla>
- [14] Neelamkavil J, Ahamed S. The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction. NRC Publications Archive. National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction. IRC-RR-324, 2012.
- [15] Freitag D. Biamar Malhas inaugura nova estrutura em concreto pré-fabricado Rotesma. Rotesma. 2022. [acesso 09 out. 2023] Disponível em: <https://www.otesma.com.br/noticias/biamar-inaugura-nova-estrutura-em-concreto-pre-fabricado-otesma>
- [16] ABCIC. Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto. Industrializar em concreto. nº 19. Julho, 2020.
- [17] Tekla. User Assistance. Automated precast fabrication: BVBS. 2023 [acesso 09 out. 2023] Disponível em: [https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2023/int\\_bvbs\\_exporting](https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2023/int_bvbs_exporting)
- [18] Tekla. A tecnologia BIM do projeto à obra. BIM: uma realidade na indústria de pré-fabricados de concreto armado. 2023 [acesso 09 out. 2023] Disponível em: <https://www.tekla.com/br/recursos/refer%C3%A2ncias/bim-uma-realidade-na-ind%C3%A9stria-de-pr%C3%A9-fabricados-de-concreto-armado>