

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

USO DA SIMULAÇÃO BIM 4D PARA APOIO À GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS EM OBRAS DE SISTEMAS PRÉ- FABRICADOS DE CONCRETO¹

**BATAGLIN, Fernanda S. (1); VIANA, Daniela D. (2); PEÑALOZA, Guillermina A. (3);
SMOLINSKI, Ana Júlia (4); FORMOSO, Carlos T. (5); BULHÕES, Iamara R. (6)**

(1) UFRGS, e-mail: fernanda.saidelles@gmail.com; (2) UFRGS, email: danidietz@gmail.com; (3) UFRGS, e-mail: arq.guillerminapenaloza@gmail.com; (4) UFRGS, e-mail: anajulia.gouveia@gmail.com; (5) UFRGS, e-mail: formoso@ufrgs.br; (6) UFRGS, e-mail: ibulhoes@yahoo.com.br

RESUMO

A pré-fabricação representa uma tendência na indústria da construção, por permitir melhorias no setor. Em contrapartida, este tipo de tecnologia construtiva altera as formas de planejamento e controle do empreendimento resultando em uma produção no canteiro muito rápida. Por isso são necessários mecanismos de avaliação da sequência de montagem para, quando necessário, informar alterações de demanda de peças a fábrica de componentes. Além disso, processos logísticos têm um papel crucial no sucesso do empreendimento. Neste contexto, o uso de *Building Information Modeling* (BIM), em especial as simulações 4D, permite a criação de modelos virtuais com cenários de montagem. O objetivo do trabalho é compreender o potencial de utilização da simulação BIM 4D para apoio à gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados de concreto, definindo sequências de lotes a serem entregues e a sequência de montagem. O estudo adotou a abordagem metodológica da *Design Science Research*. Foi realizado um estudo empírico em um empreendimento, no qual foi analisada a situação existente, implementadas melhorias no planejamento e controle logístico, sendo ao final avaliados os resultados. Como resultados, observaram-se melhorias na visualização dos processos por meio da simulação BIM 4D e no compartilhamento de informações entre os intervenientes.

Palavras-chave: Pré-fabricação. Simulação BIM 4D. Processos logísticos.

ABSTRACT

Prefabrication represents a trend in the construction industry by enabling improvements in the industry. However, this type of construction technology changes project planning and control, resulting in very fast site production. Therefore, it is necessary to have evaluation mechanisms for the assembly sequence so that, when necessary, it is possible to inform on time changes in the demand of components to the manufacturing plant. Moreover, logistics processes tend to play a key role in the success of the project. In this context, the use of Building Information Modeling (BIM), in particular 4D simulations, allows the creation of virtual

¹ BATAGLIN, Fernanda S.; VIANA, Daniela D.; PEÑALOZA, Guillermina A.; SMOLINSKI, Ana Júlia ; FORMOSO, Carlos T.; BULHÕES, Iamara R.. Uso da simulação BIM 4D para apoio a gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

models with assembly scenarios. The aim of this research work is to understand the potential use of BIM 4D simulation to support the management of logistics processes in projects that use prefabricated concrete systems, defining the sequence of batches to be delivered and the assembly sequence. Design Science Research was the methodological approach adopted. One empirical study was carried out in one construction project, involving an assessment of the existing situation, implementation of improvements in logistics planning and control, and assessment of the results. As a result, there were improvements in visualizing processes through 4D simulations and information sharing among stakeholders.

Keywords: Prefabrication. BIM 4D simulation. Logistics process.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por construções mais eficientes, rápidas, seguras e de qualidade tem feito com que algumas empresas se voltem para uma produção mais industrializada. O movimento de industrialização da construção teve início a partir do uso extensivo de pré-fabricação depois da segunda guerra mundial. Recentemente, o uso de elementos industrializados tem evoluído para o uso de sistemas construtivos industrializados (BONEV; WÖRÖSCH; HVAM, 2015).

Nestes sistemas, uma vantagem competitiva é a entrega rápida de produtos customizados às necessidades do cliente, como é o caso dos produtos *engineer-to-order* (ETO), projetados por encomenda. Em um sistema de produção focado em produtos ETO, a produção do projeto dos componentes depende da solicitação de um cliente (GOSLING; NAIM, 2009). O nível de padronização das peças pode variar conforme o produto, impactando na complexidade do sistema de produção, que inclui os processos de projeto, fabricação e montagem (RUDBERG; WIKNER, 2004).

Desta forma, percebe-se que a adoção de um nível mais elevado de industrialização na construção vai além da pré-fabricação. Para Lessing (2006), a pré-fabricação deve ser entendida como um dos elementos da industrialização da construção, que também inclui um sistema de planejamento e controle adequado, um relacionamento de longo prazo com a cadeia de suprimentos, um sistema logístico integrado ao processo construtivo, entre outros.

Devido à necessidade de maior atenção aos processos logísticos da obra, são necessários mecanismos de avaliação da sequência de montagem que para quando necessário, informar alterações de demanda de peças à fábrica de componentes. Com a finalidade de auxiliar no planejamento dos processos logísticos, a tecnologia *Building Information Modeling* (BIM), em especial as simulações BIM 4D, podem funcionar, principalmente, como ferramenta de visualização e comunicação e, ainda como uma prática para melhorar a colaboração.

O objetivo deste trabalho é compreender o potencial da utilização da simulação BIM 4D para apoio à gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados de concreto. São apresentados resultados do estudo realizado em uma edificação, a qual tinha parte da estrutura pré-fabricada

de concreto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Gestão dos processos logísticos em sistemas de produção *Engineer-to-order*

Os processos logísticos têm um papel importante no contexto de sistemas construtivos pré-fabricados, e devem ser considerados no planejamento e controle de obras desta natureza.

A eficácia do planejamento depende da sincronização entre os processos de projeto, fabricação e montagem no canteiro de obras. Essa sincronia muitas vezes acaba sendo dificultada pela natureza do sistema de produção, caracterizados como *Engineer-to-order* (ETO). Nesse sistema, os processos de produção e montagem se desconectam e, muitas vezes, em função do planejamento não confiável no canteiro de obras e comunicação insuficiente entre fábrica e montagem (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014).

Laufer e Tucker (1987) salientam que o planejamento, na maioria das empresas de construção, foca-se em planejar o tempo e não métodos. Segundo os mesmos autores, o planejamento de “como realizar” deveria proceder simultaneamente à tomada de decisões relativas aos recursos e tempo do seu uso.

De acordo com Hawkins (2010), concepção, planejamento e controle dos processos de um canteiro de obras é tarefa difícil, tornando altamente variáveis o tempo, custo, qualidade, segurança e desempenho das construções. Ainda conforme o mesmo autor, os profissionais da construção estão mais conscientes do papel que a logística, corretamente planejada e executada, desempenha na produção de resultados bem sucedidos.

2.2 Building Information Modeling (BIM)

Schlueter e Thesseling (2009) afirmam que os modelos BIM são considerados um rico repositório capaz de armazenar diferentes tipos de informações. Esses tipos de informações incluem informações geométricas relacionadas diretamente com a forma da construção em três dimensões, informações semânticas que descrevem as propriedades dos componentes e informações topológicas que captam as dependências dos componentes.

De acordo com Eastman *et al.* (2011), os modelos da construção são caracterizados por componentes de construção representados por objetos que “sabem o que eles são” e que podem ser associados com atributos computáveis e regras paramétricas; componentes que incluem dados que descrevem como eles se comportam; dados consistentes e não redundantes e por fim, dados coordenados de forma que todas as visualizações de um modelo sejam representadas de maneira coordenada.

2.2.1 Nível de desenvolvimento (*Level of development* - LOD)

O nível de desenvolvimento (LOD) refere-se ao grau em que a geometria e informações dos elementos foram pensadas (BIMForum, 2015) no modelo 3D. De acordo com AIA (2013), o LOD pode ser dividido em cinco níveis, 100, 200, 300, 400 e 500. A diferença entre eles é a forma de representação de cada elemento e a quantidade de informações disponíveis desses elementos. No presente estudo, foram utilizados os LOD 200, onde cada elemento é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto genérico com quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização e orientação e o LOD 300, onde cada elemento é representado como um sistema, objeto ou conjunto específico com precisão em relação à quantidade, tamanho, localização e orientação (AIA, 2013).

2.2.2 Simulação 4D

BIM 4D reúne informações de tempo ao modelo 3D, permitindo aos planejadores uma visão do progresso da construção no ambiente 4D. Com o processo de análise e modelagem, os projetos podem beneficiar aumento da transparência do processo, aumento da flexibilidade da sequência durante o processo de planejamento e aumento da capacidade de todos os participantes visualizarem o processo (HARRIS; ALVES, 2013).

As ferramentas de visualização 4D podem demonstrar todo o progresso da construção de maneira nítida e mostrar os potenciais conflitos existentes no canteiro de obras (CHAU; ANSON; ZHANG, 2005). Os métodos de planejamento baseados em modelos podem melhorar a comunicação entre os stakeholders do projeto e ajudar a evitar falhas no planejamento (TULKE; HANFF, 2007).

3 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada para esse trabalho é a pesquisa construtiva, ou *Design Science Research*. É uma pesquisa que procura explorar novas alternativas de soluções para resolver problemas, explicar o processo exploratório e ainda melhorar o processo de resolução dos problemas (HOLMSTROM; KETOKIVI; HAMERI, 2009).

O processo de pesquisa foi dividido em duas fases. A primeira fase consistiu na identificação e entendimento do problema prático na obra da empresa parceira. A segunda fase compreendeu a concepção e implementação de soluções com a participação e envolvimento de vários setores da empresa.

As fontes de evidências utilizadas neste estudo foram entrevistas semiestruturadas com os diferentes intervenientes, análises de documentos e das práticas de planejamento e controle adotados pela empresa, observação direta em visitas de acompanhamento a obra e participações em reuniões de planejamento de curto prazo. Foram também realizadas visitas à sede da empresa e à fábrica, para explorar o funcionamento das

unidades de projeto, produção, expedição e montagem, suas operações e como ocorre a interação entre esses setores.

No artigo são apresentados resultados parciais de um estudo desenvolvido em um empreendimento localizado em Porto Alegre/RS. O empreendimento será sede do campus de uma universidade e é caracterizado pela presença de estrutura mista, com parte moldada in loco e parte com elementos pré-fabricados de concreto.

Fundamentadas nas análises e entendimento dos processos internos da empresa são propostas algumas soluções para melhorias no desempenho da empresa e, mais particularmente, da obra. Essas soluções foram desenvolvidas em conjunto com integrantes do projeto de pesquisa e da empresa.

A modelagem explorada durante a pesquisa foi realizada em duas etapas principais. Primeiramente, os arquivos dos projetos arquitetônicos do empreendimento, disponibilizados pela empresa em Auto CAD 2D, foram modelados em 3D no software *Revit*.

A terminologia dos componentes do projeto foi relevante durante a modelagem pela utilização das informações na realização do planejamento de cargas. Outra informação relevante para a modelagem foi o nível de desenvolvimento do modelo 3D. O nível de desenvolvimento utilizado para o modelo foi LOD 300 para os elementos da estrutura pré-fabricada de concreto e LOD 200 para a modelagem do canteiro de obras e entornos.

Com os arquivos do modelo 3D disponíveis juntamente com o cronograma das atividades de montagem, a simulação 4D foi realizada no software *Synchro Professional*.

Os tempos das atividades de modelagem para o desenvolvimento da simulação BIM 4D são apresentados, em resumo, na Tabela 1. Cabe salientar que a obra foi dividida em três setores, e que os tempos apresentados são relativos a modelagem de cada setor separadamente.

Tabela 1 – Resumo da duração das atividades de modelagem.

Atividade	Duração		
	SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3
Modelagem 3D do empreendimento em Revit	15h	8h	8h
Modelagem do canteiro de obras em Revit	6h	4h	4h
Simulação 4D no Synchro (atribuição de recursos as atividades e inserção de equipamentos)	20h	16h	12h
Total	41h	28h	24h

Fonte: Os autores

No decorrer da modelagem 3D foram identificadas necessidades de alterações no modelo que facilitariam a utilização. O detalhamento das lajes alveolares foi uma das principais. No projeto, as lajes foram especificadas

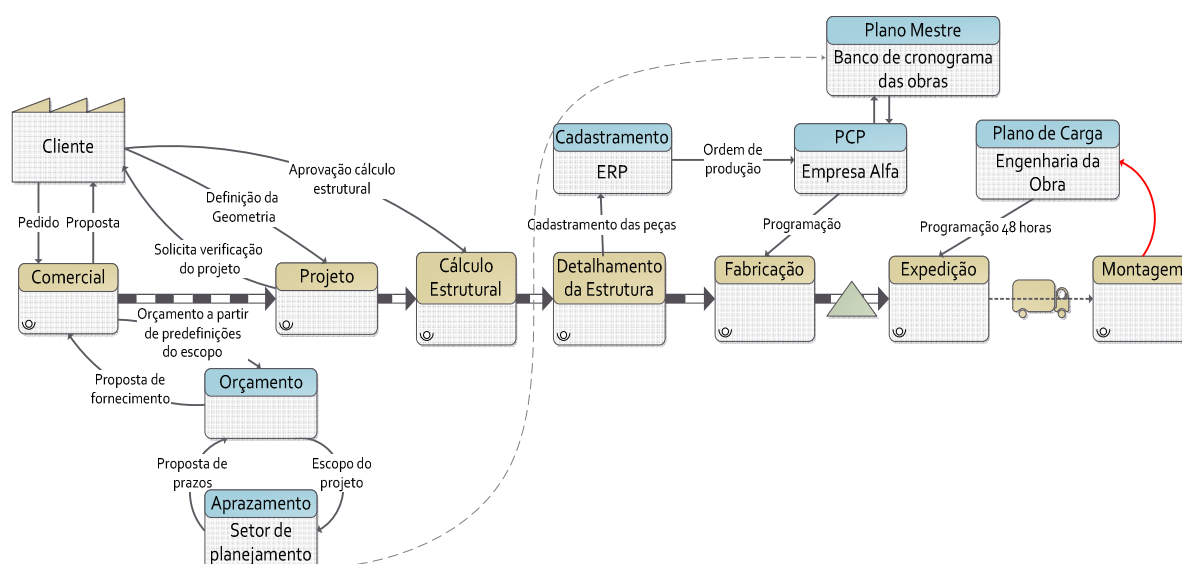
alveolares e estavam sendo modeladas conforme o mesmo. Ao finalizar a primeira etapa de modelagem (setor 1) percebemos o tempo excessivo para exportar o modelo do software Revit e importar no software Synchro. Dessa forma, como o detalhamento das lajes não influenciava o entendimento e utilização do modelo 4D, as mesmas foram consideradas maciças, com especificação de espessura e comprimento. Sendo assim, o nível de desenvolvimento para modelagem das lajes foi LOD 200, considerando que a forma dos elementos lajes foi modelada aproximada.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Práticas de planejamento existentes

A Figura 1 apresenta o processo tradicional adotado pela empresa, com representação do fluxo de informações e materiais para as unidades organizacionais da empresa.

Figura 1 - Fluxo da empresa.



Fonte: Os autores

O fluxo inicia no contato cliente/comercial, que repassa predefinições de escopo ao setor de orçamentos e o mesmo faz análises e quantificações, e responde ao comercial com uma proposta. Nesta etapa é realizado o aprazamento da obra pelo setor de planejamento. Esse processo se repete até o acordo entre cliente e representante comercial.

Após a venda, a engenharia inicia os projetos preliminares, que são enviados ao cliente para verificação. Com a validação do projeto pelo cliente, o cálculo estrutural e o detalhamento da estrutura são realizados.

Com a estrutura detalhada, inicia-se o cadastramento das peças no sistema ERP. Com estas informações são geradas ordens de compra de materiais e ordens de produção para fabricação. O setor de planejamento e controle

da produção (PCP) da fábrica recebem as ordens de produção e programam a fabricação.

Finalizada a fabricação das peças, as mesmas são estocadas. A expedição das peças acontece diante o recebimento do plano de cargas. Por fim, as peças solicitadas são enviadas a obra e submetidas à montagem.

Os setores mais diretamente envolvidos neste processo são: fábrica, expedição e montagem no canteiro de obras. Dessa forma, identificamos algumas peculiaridades, descritas a seguir.

Na fábrica, o processo de produção dos componentes influenciava a sequência de montagem das peças no canteiro de obras. A produção era realizada em grandes lotes com intenção de otimizar as fôrmas, gerando grande quantidade de estoque no pátio da fábrica.

Na expedição, o processo de carregamento das carretas para envio a obra era realizado a partir do recebimento dos planos de cargas. Mesmo essa ferramenta descrevendo somente as peças que seriam utilizadas pela montagem no período solicitado, o setor de expedição visava à otimização de cargas para o transporte. Por isso, as cargas incompletas recebiam peças que não seriam utilizadas em breve, mas que já estavam produzidas e disponíveis em estoque.

No canteiro de obras, foi possível identificar diversas frentes de trabalho em andamento. Fato que ocorria devido ao recebimento de peças aleatórias, ausência de lotes de montagem bem definidos e a presença de peças não solicitadas conforme a sequência. A chegada dessas peças desnecessárias ocasionava áreas de estoque abrangentes no canteiro de obras, restringindo a área necessária para trânsito de equipamentos, rotas de pessoas e acessos de materiais.

4.1.1 Planos de cargas

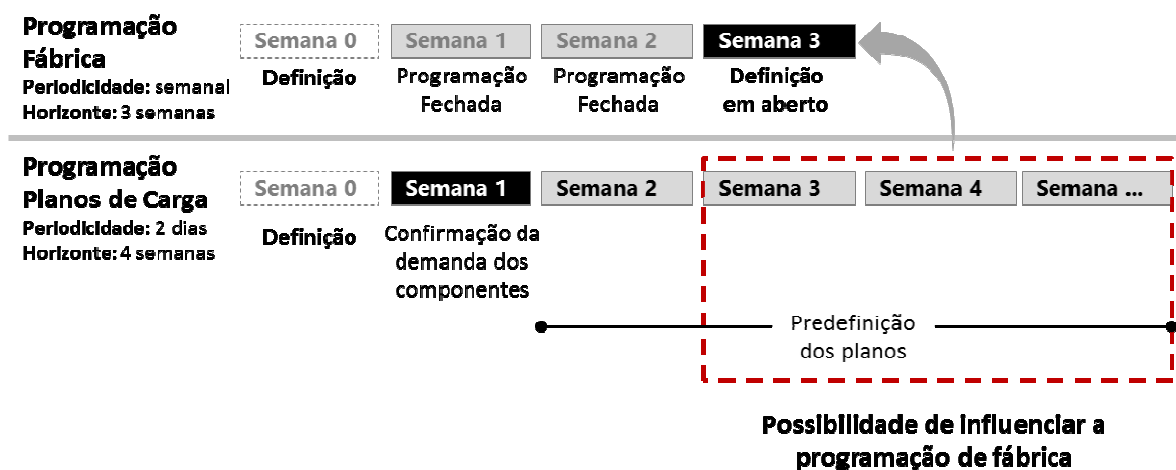
O plano de carga é uma ferramenta que descreve as peças que compõem a carga do caminhão, e quando devem chegar ao local. São relacionados com os componentes necessários à sequência de montagem e com a capacidade do caminhão.

O processo de elaboração dos planos de carga é estritamente manual. São utilizados os projetos impressos em 2D e o cronograma. A combinação entre ambos gera uma lista das peças que serão utilizadas na data planejada. Baseados nessa lista de peças e com a definição da carga máxima para o transporte são realizadas as cargas. Existe ainda um relatório fornecido pelo setor de planejamento e controle da produção que contém o status atualizado de cada peça. Então, é feito o cruzamento manual de informações entre o plano de cargas e o relatório do status das peças com intenção de confirmar as datas nas quais as peças necessárias serão disponibilizadas pela fábrica.

Os planos de cargas eram enviados a cada 2 dias diretamente ao setor de expedição. Pelo curto período de tempo, ocorria frequentemente que peças que configuravam a sequência de montagem estabelecida na obra não estavam produzidas, acarretando em atrasos na obra.

Em reunião com os pesquisadores foi sugerido aumentar o horizonte do plano de cargas na tentativa de amenizar falhas. Os planos de cargas passaram a ser enviados com antecedência de 15 dias diretamente ao setor de planejamento e controle da produção, servindo para confirmar a produção na fábrica, sendo revisados pelo engenheiro de obras e posteriormente, confirmado com o setor da expedição, a cada 2 dias, a quantidade de cargas, a data de entrega e a organização das peças nas cargas. A Figura 2 representa a estratégia para utilização dos planos de cargas com tentativa de facilitar e tornar mais clara a comunicação entre os setores.

Figura 2 – Estratégia do plano de cargas.



Fonte: Os autores

4.2 Simulação BIM 4D para apoio à gestão dos processos logísticos

Com base nas análises e entendimento dos processos internos da empresa, verificou-se a falta de sincronização entre os setores, principalmente entre fábrica, expedição e montagem, que influenciavam diretamente os processos logísticos do canteiro de obras. Além disso, salienta-se a necessidade de comunicação e colaboração entre os intervenientes.

Na tentativa de propor melhorias, a introdução de novas tecnologias, como o uso de *Building Information Modeling* (BIM), em especial as simulações 4D, poderiam apoiar como ferramenta de geração, visualização e avaliação dos processos logísticos e na elaboração dos planos de cargas, contribuindo no aumento da eficiência dos processos. Além disso, identificamos que o plano de cargas, ferramenta já existente no âmbito da empresa, poderia ser utilizado como agente facilitador na comunicação entre os setores.

4.2.1 Simulação de cenários

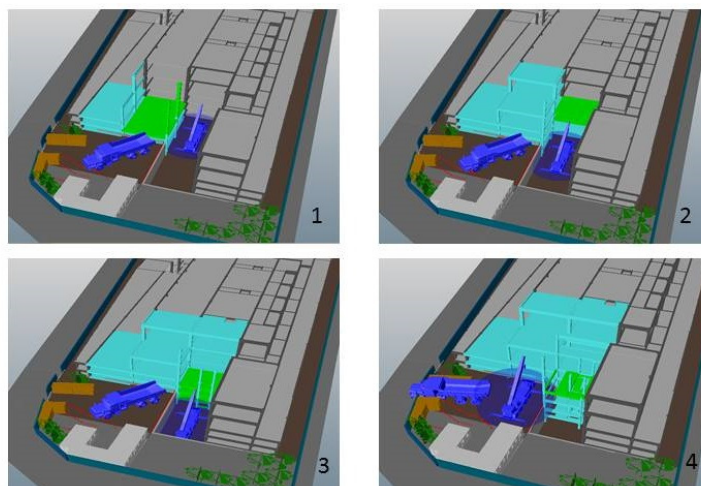
A primeira abordagem foi empregada para melhoria na visualização dos espaços físicos do canteiro de obras e análise de viabilidade quanto ao cumprimento das sequências de montagem pré-definidas dos elementos pré-fabricados (Figura 3). Além disso, a simulação BIM 4D foi utilizada para a simulação de diferentes cenários de montagem (Figura 4). A realização dos planos de execução das atividades visavam à otimização da montagem e o uso dos recursos disponíveis. Esses recursos incluíam os componentes pré-fabricados, os equipamentos e a mão de obra.

Figura 3 – Layout do canteiro de obras.



Fonte: Os autores

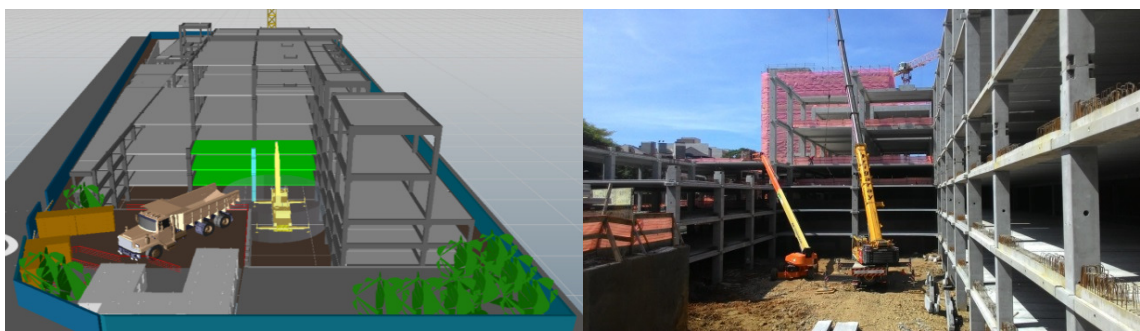
Figura 4 – Imagens da simulação 4D.



Fonte: Os autores

A simulação BIM 4D foi utilizada nas reuniões de planejamento com a equipe da obra e a partir das discussões, as informações no modelo eram atualizadas. A Figura 5 mostra as similaridades do modelo 4D com o trabalho executado no canteiro de obras.

Figura 5 – Comparação entre a simulação 4D e a montagem.



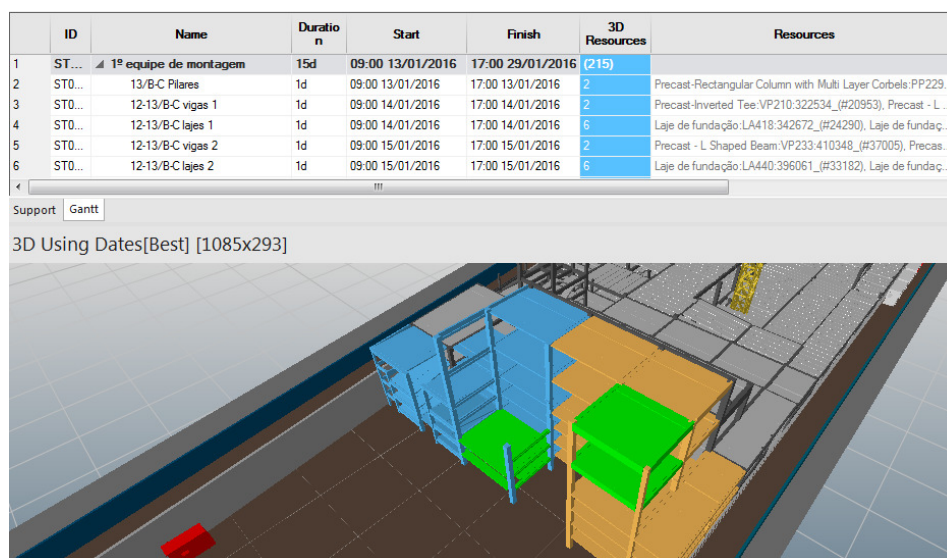
Fonte: Os autores

4.2.2 Assistência à elaboração dos planos de cargas

A simulação BIM 4D contém informações nos objetos capazes de auxiliar na elaboração dos planos de cargas. Relacionando os objetos do modelo tridimensional com as tarefas programadas na simulação, poderíamos facilitar o processo e diminuir as possibilidades de erros durante a realização do planejamento das cargas.

A Figura 6 representa a interface do software de modelagem 4D, na qual temos o Gantt com as atividades a serem executadas e o modelo 3D que ao ser importado mantém informações geométricas, semânticas e topológicas de cada elemento modelo.

Figura 6 – Interface do software Synchro Professional para simulação BIM 4D.



Fonte: Os autores

Utilizando os dados da simulação BIM 4D e o relatório fornecido pela produção com o status atualizado das peças, criamos uma ferramenta auxiliar no Microsoft Excel (Figura 7) que faz o cruzamento automático desses dados e gera a lista de peças programadas para uma data de montagem.

Figura 7 – Ferramenta auxiliar para elaboração dos planos de cargas.

22-23/D-E

3P

5 Tipos de peças

22-23

D-E

6

Peso Total

28,54

ton

Extensiva?

Não

Total de Cargas

2

Cargas

2

Comum

-

Extensiva

		Planta	EIXO	QTDE	PESO unit	VOLUME unit	COMP.	DATA	PESO total	VOL total	PRODUZIDA	
1	VA	801	3P	22-23/D-E	1	5,53	2,211	7,48	20/abr	5,53	2,211	OK
2	LA	1296	3P	22-23/D-E	1	3,36	1,371	10,2	20/abr	3,36	1,371	OK
3	LA	1297	3P	22-23/D-E	4	3,37	1,377	10,2	20/abr	13,48	5,508	OK
4	LA	1298	3P	22-23/D-E	1	2,83	1,157	10,2	20/abr	2,83	1,157	OK
5	LA	1299	3P	22-23/D-E	1	3,34	1,362	10,2	20/abr	3,34	1,362	OK
6												

Fonte: Os autores

Segundo relatos da equipe de obra, responsável pela elaboração do planejamento das cargas, o uso da simulação BIM 4D juntamente com a planilha auxiliar, reduziu o tempo gasto nessa atividade em aproximadamente 1/3 do tempo anteriormente utilizado nessa atividade.

Os principais benefícios foram melhorias na visualização dos processos por meio da simulação 4D devido à disponibilidade de informações dos componentes, principalmente geométricas e de localização. Também melhorias no compartilhamento de informações entre os diferentes setores que utilizam a ferramenta (produção/expedição/montagem), resultando em maior praticidade e confiabilidade na elaboração dos planos de cargas.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho contribuiu para o entendimento dos processos que ocorrem em ambientes de pré-fabricação do tipo *Engineer-to-order*. Com isso, foi possível propor alternativas que contribuíssem para melhorias no desempenho tanto da obra como da empresa.

Para a pesquisa, foi visto potencial de utilização de tecnologias *Building Information Modeling* (BIM), em especial a simulação BIM 4D, como ferramenta de apoio, atuando no estudo de sequenciamentos de montagem e definição de lotes a serem entregues no canteiro de obras. A simulação BIM 4D trouxe contribuições relacionadas à estabilidade do fluxo de trabalho que acabam demandando processos logísticos de montagem mais eficazes com a garantia de redução de erros e dos tempos de execução do empreendimento.

A utilização da simulação BIM 4D para apoio a elaboração dos planos de cargas foi facilitada pela capacidade de rápidas alterações nos planos de ataque e a troca de informações com a ferramenta auxiliar que foi elaborada. Apesar de a empresa não utilizar a modelagem BIM para a elaboração de todos os seus projetos, alguns clientes já demandam o uso da tecnologia. A partir deste estudo, observou-se que a ampla utilização de projetos em BIM facilitaria tanto o processo de projeto, como o de logística em obra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pelos recursos financeiros aplicados à pesquisa e a empresa pela oportunidade do estudo.

REFERÊNCIAS

AIA. Document G202 – 2013 Copyright © 2013 by **The American Institute of Architects**.

BIM Forum. **Level of Development Specification**: For Building Information Models. Version 2015. [Acessado em 30/03/2015: <http://bimforum.org/lod/>]

BONEV, M.; WÖRÖSCH, M.; HVAM, L. Utilizing platforms in industrialized construction: A case study of a precast manufacturer. **Construction Innovation**, v. 15, n. 1, p. 84–106, jan. 2015.

CHAU, K. W.; ANSON, M.; ZHANG, J. P. 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development. **Automation in Construction**, v. 14, n. 4, p. 512–524, 2005.

EASTMAN, C.; EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2 ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.

GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 122, n. 2, p. 741–754, 2009.

HARRIS, B.; ALVES, T. D. C. L. 4D Building Information Modeling and field operations: an exploratory study. **Iglc-21**, p. 811–820, 2013.

HAWKINS, Glenn. Industrialised, integrated and intelligent construction project logistics. **Industrialised, Integrated, Intelligent sustainable Construction**, p. 163. 2010.

HOLMSTROM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory : A Design Science Approach. **Decision Science**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, v. 5, n. 3, p. 243–266, 1987.

LESSING, J. **Industrialised house-building**. [s.l: s.n.].

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 457–462, 2014.

RUDBERG, M.; WIKNER, J. Mass customization in terms of the customer order decoupling point. **Production Planning & Control**, v. 15, n. 4, p. 445–458, jun. 2004.

SCHLUETER, A.; THESELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153–163, 2009.

TULKE, J.; HANFF, J. 4D Construction Sequence Planning – New Process and Data Model. **Proceedings of CIB-W78 24th International Conference on Information Technology in Construction**, p. 79–84, 2007.