

O USO DA MODELAGEM BIM 4D NO PROJETO E GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Clarissa Notariano Biotto (1); Carlos Torres Formoso (2); Eduardo Luis Isatto (3);

(1) Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação Urbana – NORIE – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: clerwice@gmail.com

(2) Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação Urbana – NORIE – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: formoso@ufrgs.br

(3) Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação Urbana – NORIE – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: isatto@ufrgs.br

Resumo

Building Information Modeling (BIM) é uma nova abordagem para a gestão da informação em projeto, construção e gestão da edificação. Baseia-se numa representação digital do edifício, a qual pode ser utilizada para gerar modelos 4D de alternativas de processos de construção. Este artigo relata os principais resultados de uma pesquisa que investigou o uso da modelagem 4D para apoiar a tomada de decisão na gestão de sistemas de produção. Quatro estudos de caso foram realizados em diferentes empresas de construção na cidade de Porto Alegre, Brasil, envolvidas no desenvolvimento e construção de projetos de edificações residenciais. As principais conclusões do estudo referem-se aos benefícios do uso de modelos 4D na gestão do sistema de produção.

Palavras-chave: Modelagem 4D, BIM, Gestão do Sistema de Produção.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) is a new approach for managing information in design, construction, and facilities management. It is based on a digital representation of the building, which can be used for generating 4D models of alternatives for the construction process. This article reports the main results of a research project that investigated the use BIM for supporting decision making in production system management. Four case studies were carried out in different construction companies from Porto Alegre, Brasil, involved in the development and construction of house building projects. The main conclusions of the study are concerned with the benefits of the use of 4D visualization in production system management.

Keywords: 4D Modeling, BIM, Production System Management.

1. INTRODUÇÃO

A complexidade nas decisões de um empreendimento se verifica pelo fato de que os efeitos de cada decisão dependem de um grande número de outras decisões (PAPAMICHAEL, 1999). No setor da construção, as decisões são tomadas com pouca informação, resultando em oportunidades perdidas e em efeitos indesejados (PAPAMICHAEL, 1999).

As decisões na gestão da produção são tomadas em três genéricas ações (KOSKELA; BALLARD; 2003): (a) Projeto do Sistema de Produção; (b) Operação do sistema de produção (que pode ser dividida em planejamento, controle e correções); e, (c) melhoria do sistema de produção. Essas três ações podem ser distinguidas baseadas em suas relações temporais ao ato

produtivo. O projeto do sistema de produção deve existir antes do ato produtivo, a operação durante, e a melhoria pode ser realizada somente depois do ato produtivo, quando se é capaz de observar como o sistema de produção se comporta de fato (KOSKELA; BALLARD, 2003).

Portanto, para melhor representar e embasar as decisões na gestão da produção, contemplando em especial, a fase de projeto e operação dos sistemas de construção, novas ferramentas podem ser utilizadas para extração de informações e explicitação de decisões.

O uso da tecnologia BIM (Building Information Model) está se disseminando pelo setor da construção por ser um recurso para compartilhar informação sobre uma edificação, configurando uma base confiável para apoiar decisões e melhorar os processos no decorrer do ciclo de vida do projeto, baseado em uma representação digital de características físicas e funcionais dessa edificação (NBIMS, 2007).

Modelos em que a quarta dimensão de informação é o tempo, chamados de modelos 4D, são a combinação de modelos 3D com o planejamento da obra (RISCHMOLLER; ALARCON, 2002; RILEY, 2005; KUNZ; FISCHER, 2011) e são utilizados como fonte de planejamento visual da construção, além de gerarem um novo nível de visualização e entendimento dos processos por parte dos envolvidos no empreendimento (KYMMEL, 2008).

O uso da modelagem BIM 4D se apresenta como uma nova opção de ferramenta de auxílio a tomada de decisão na gestão de sistemas construtivos, pois, de acordo com Baccarini (1996), as características dos empreendimentos complexos demandam ações, métodos, técnicas e ferramentas apropriados para gerenciá-los com sucesso.

O objetivo deste trabalho foi revelar os benefícios encontrados pelo uso dos modelos BIM 4D na gestão da produção, em especial às fases de projeto e operação, estudados em 4 empreendimentos residenciais.

2. GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os produtos da construção são produzidos por complexos sistemas produtivos: contemplam múltiplas organizações, empregam uma grande variedade de tecnologias de produção, requerem extensivas informações de projeto de engenharia, são alimentados por numerosas cadeias de suprimento, e, como a maioria dos sistemas de produção, sofrem variabilidade e incerteza (BALLARD; PICCHI; SACKS, 2010). Essas características se somadas às outras peculiaridades da construção, como o fato de ser uma produção única, haver produção no canteiro de obra e ser uma organização temporária, exige outros requisitos ao projeto do sistema de produção da construção se comparado à indústria de manufatura (KOSKELA; BALLARD, 2003).

A nova teoria de produção, intitulada de TFV, conceitualiza a produção sob três pontos de vista: transformação, fluxo e valor (KOSKELA et al., 2007). Segundo os mesmos autores, nela, a produção é vista como fluxo de materiais e informações por meio de uma rede de especialistas, e a concepção da produção em termos de gerar valor para o cliente, deixando a tradicional visão de que a produção é apenas a transformação de insumos.

O Projeto do Sistema de Produção (PSP) é composto pelos processos de análise e discussão de alternativas de organização do sistema de produção de um empreendimento, bem como a seleção da alternativa mais adequada à obtenção de um melhor desempenho deste sistema durante sua execução (SCHRAMM, 2004).

Complexas decisões são tomadas durante a elaboração do PSP, como por exemplo, a definição do nível de integração vertical, nível da capacidade produtiva, arranjo físico e fluxos

de trabalho, sincronização entre processos de produção, e projeto dos processos de produção (SCHRAMM, 2004). Essas decisões, tomadas anteriormente à execução do empreendimento, contribuem na mitigação dos efeitos da variabilidade e da incerteza inerentes aos sistemas de produção (KOSKELA, 2000; BALLARD et al., 2001; SCHRAMM, 2004), além de contribuírem na melhoria do desempenho do planejamento e controle da produção (PCP) e do ciclo de melhoria contínua (kaizen) do empreendimento (SCHRAMM, 2004).

Segundo Laufer e Tucker (1987), o planejamento tem como objetivo responder o que deve ser feito e como deve ser feito, conseguindo assim tornar a execução e o controle das obras mais eficazes, principalmente, se executados ambos em conjunto (ISATTO et al., 2000). Através do planejamento e controle da produção (PCP) pode-se melhorar também a produtividade, pois se consegue reduzir atrasos, seqüenciar o trabalho da melhor forma possível, combinar mão-de-obra com o trabalho a ser realizado, coordenar as múltiplas atividades interdependentes, entre outros (BALLARD, 1994).

As ferramentas utilizadas em cada etapa de decisão do modelo de PSP de Schramm (2004) foram utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa. Se pretendeu neste trabalho, associar o uso de uma nova ferramenta, a modelagem BIM 4D, à gestão do sistema de produção dos empreendimentos da construção.

3. BIM E MODELOS 4D

De acordo com a American General Contractors (AGC, 2011), BIM é o desenvolvimento e uso de um software computacional para simular a construção e operação de uma edificação. O modelo resultante, o Building Information Model, é uma representação da edificação rica em dados, a partir da qual, visões e informações adequadas às necessidades de vários usuários podem ser extraídos e analisados para gerar novas informações que podem ser utilizadas para tomar decisões e melhorar o processo de entrega da edificação (AGC, 2011).

Modelos BIM podem representar diversas dimensões (nD) de informação de uma edificação (LEE et al., 2002). Os modelos nD são uma extensão do modelo de informação da construção, o qual, incorpora multi-aspectos de informação de projeto requerida em cada estágio do ciclo de vida de uma edificação (LEE et al., 2002). Os softwares de modelagem nD apresentam uma série de informações multi-disciplinares baseadas no projeto da edificação e da aplicação de análises que acessam um modelo nD por meio de dados padronizados e interoperáveis (LEE et al., 2002). De acordo com Lee et al. (2002), mais dimensões (D) podem ser adicionadas para integrar informações de tempo, custo, construtibilidade, acessibilidade, sustentabilidade, acústica, iluminação e requisitos térmicos.

Os modelos 4D são modelos tridimensionais ligados ao tempo (COLLIER; FISCHER, 1995; LEINONEN et al., 2005), ou tempo de processo (TOMMELEIN, 2005), ou, ao planejamento de seus elementos (RISCHMOLLER; ALARCON, 2002; RILEY, 2005; KUNZ; FISCHER, 2011). Para Koo e Fisher (1998), CAD 4D é uma técnica de visualização de processos de construção baseado em geometria: uma animação 4D mostra a construção de um projeto.

A modelagem 4D pode ser feita utilizando modelos CAD e BIM (EASTMAN et al., 2011). Quando se modela com tecnologia CAD 4D, os modelos 3D que contém apenas associações de tempo (EASTMAN et al., 2011). O planejamento da construção é conectado ao modelo 3D, permitindo a visualização da sequência construtiva e o cronograma do edifício (GSA, 2007; EASTMAN et al., 2011). Ferramentas CAD 4D permitem ao modelador executar o planejamento visualmente e comunicar as atividades no contexto de espaço e tempo (GSA, 2007; EASTMAN et al., 2011). As animações 4D se referem aos vídeos ou simulações virtuais do cronograma (EASTMAN et al., 2011).

Já a modelagem 4D com tecnologia BIM, refere-se a utilizar ferramentas de análise que incorporam os componentes BIM e informações sobre o método de construção para otimizar o sequenciamento das atividades. Essas ferramentas incorporam o espaço, a utilização dos recursos, e informações de produtividade (EASTMAN et al., 2011). Softwares baseados em BIM suportam a geração de documentos (por exemplo, desenhos, listas, tabelas e renderizações 3D). Como um recurso compartilhado de conhecimento, o BIM pode reduzir a necessidade de coleta e reformatação de informação, o que resulta no aumento da velocidade e precisão de informação transmitida, automatização de conferências e análises, e suporte às atividades de operação e manutenção (GSA, 2007; EASTMAN et al., 2011).

4. MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho trata-se de uma pesquisa de aplicação da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) na gestão da produção, portanto, segundo March e Smith (1995), a pesquisa com TIC estuda o artificial, as criações humanas, como as organizações e sistemas de informações. A ciência do artificial ou design science tem como suas principais atividades construir e avaliar os produtos (MARCH; SMITH, 1995).

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho foi a pesquisa construtiva (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993; LUKKA, 2003), pois ela é um procedimento de pesquisa para produzir construções inovadoras, com intenção de resolver problemas encontrados no mundo real, e assim, contribuir com a teoria da disciplina na qual é aplicada (LUKKA, 2003).

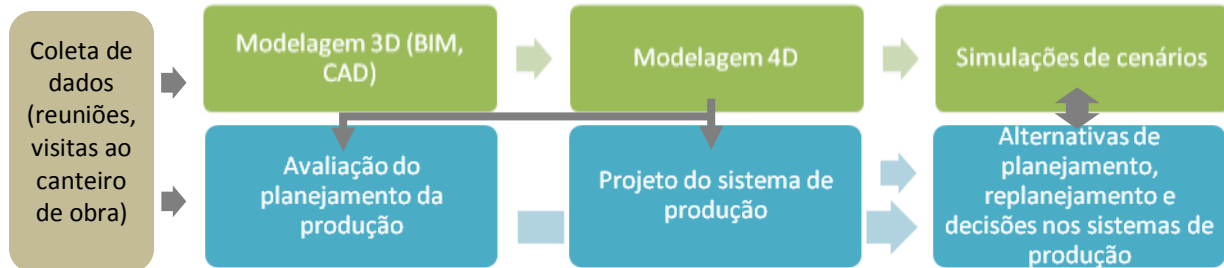
As etapas de desenvolvimento desta pesquisa foram a **coleta de dados inicial**, a qual compreendeu a participação da pesquisadora em reuniões com engenheiros de obra e planejadores das empresas nos estudos. Na etapa de **avaliação do planejamento da produção** se utilizou diversas ferramentas do PSP (diagramas de sequência de execução das atividades, sincronia das equipes, linha de balanço, histogramas de recursos, planilhas de capacidade dos recursos, modelos 4D, entre outros) para se obter uma nova visualização do plano de longo prazo dos empreendimentos, e assim, avaliá-los sobre outra perspectiva. Essa etapa aconteceu nos estudos de 1 a 3. Na etapa de **projeto do sistema de produção**, que aconteceu no estudo 4, houve de fato a elaboração do PSP, e também se utilizou a modelagem 4D como nova ferramenta para apoiar a tomada de decisão.

Logo após a coleta de dados, se partiu para a etapa de **modelagem 3D**, na qual, foram utilizados softwares BIM e CAD, como AutoCADArchitecture e SketchUP, para obter os modelos 3D das diversas unidades de análise (unidade-base, torres, empreendimento + canteiro); Na etapa de **modelagem 4D**, houve a filtragem de atividades dos arquivos do MSProject que se referiram aos elementos modelados em 4D, e a ligação desses elementos de construção BIM e CAD 3D com seu planejamento e a visualização de sua construção.

O uso das ferramentas permitiu visualizar e identificar conflitos entre os recursos de produção e incoerências nos planejamentos definidos até então. A partir disso, na etapa de **alternativas de planejamento, replanejamento e decisões do sistema produtivo** foram elaboradas alternativas de plano de longo prazo (estudo 1), replanejamento (estudo 2 e 3), e decisões do sistema de produção, como estratégias de ataques e equipamentos de transporte vertical, entre outras (estudo 4). Todas essas alternativas foram simuladas nos modelos 4D na etapa de **simulações de cenários**, e rapidamente avaliadas.

As etapas estão explicitadas na Figura 1.

Figura 1– Etapas da pesquisa nos estudos empíricos.



As atividades dessas etapas compuseram os 4 estudos empíricos realizados nesta pesquisa, e que foram brevemente descritos a seguir.

Estudo 1: empreendimento em fase de construção prevista para 15 meses, composto por 12 blocos de 5 pavimentos com 4 apartamentos de 2 dormitórios por andar. O foco do estudo foi experimentar o software (Navisworks) simulando planos de longo prazo na linha de balanço e no modelo BIM 4D, junto com o projeto de leiaute de canteiro.

Estudo 2: empreendimento em fase de construção prevista para 24 meses; composto por 2 torres de 19 e 20 pavimentos com apartamentos de 3 e 4 dormitórios por andar. O foco do estudo foi simular o planejamento da produção com o uso de modelos BIM 4D e analisar uma alternativa de replanejamento da atividade de revestimento externo de fachadas.

Estudo 3: empreendimento em fase de terraplanagem, com duração prevista de 20 meses; composto por 514 casas geminadas em condomínio fechado. O foco do estudo com modelos 4D foi visualizar a sequência executiva na unidade-base, o plano de ataque do empreendimento e simular alternativas do mesmo.

Estudo 4: empreendimento em fase de fundação e terraplanagem, com duração de 24 meses por torre, sendo ele composto por 9 torres de 8 pavimentos com 6 apartamentos de 2 dormitórios por andar. O foco do estudo foi elaborar o PSP junto com os participantes da empresa e escolher a melhor alternativa de equipamentos e plano de ataque.

5. RESULTADOS

Diversos foram os benefícios aportados ao projeto e gestão dos sistemas de produção pelo uso dos modelos BIM 4D nos estudos desta pesquisa. O quadro resumo da Figura 2 apresenta os principais benefícios identificados em cada unidade de análise, baseado inicialmente no modelo de Schramm (2004).

Figura 2 – Quadro resumo dos estudos e benefícios encontrados nos modelos BIM 4D

Unidade de análise	Benefícios do uso de modelos BIM 4D
Unidade-base	A modelagem 4D mostrou erros de sequenciamento das atividades no estudo 3 (Figura 4)
	Permitiu a visualização do fluxo de trabalho e WIP (trabalho em progresso) em dois pavimentos do estudo 2 (Figura 4). O WIP maior no 4º pavimento se comparado ao 16º pavimento foi provocado pela inversão do fluxo de trabalho na torre de atividades posteriores aos revestimentos internos.
	O modelo BIM 4D ajudou a visualizar qual seria o equipamento de transporte vertical de materiais mais adequado à unidade-base. No estudo 4, se verificou um problema de

	fornecimento de material pelo equipamento cremalheira na unidade-base que teve seu lote de produção dividido em dois (Figura 5).
Módulo de Repetição da UB	No estudo 2, o modelo 4D auxiliou na visualização do fluxo de trabalho de uma alternativa de replanejamento do revestimento externo da fachada das torres (Erro! Fonte de referência não encontrada.), o qual apresentou possíveis riscos à segurança dos operários.
Empreendimento	A modelagem 4D favoreceu o estudo de simulações de três cenários de plano de longo prazo no estudo 1, e a visualização de restrições espaciais de instalações de canteiro e do próprio plano de ataque (Figura 7).
	No estudo 4, a escolha do equipamento de transporte vertical foi beneficiada pelo modelo BIM 4D, pois foi possível extrair de quantitativos de alvenaria e lajes, a quantidade de palets e ferragens necessárias para cada pavimento. A partir disso, se obteve o tempo necessário de carregamento para cada pavimento se utilizassem guindaste, caminhão munk e elevador cremalheira, e qual seria o desembolso ao longo do empreendimento com aluguel desses equipamentos.
	A localização dos equipamentos de transporte vertical também foi definida através do modelo 4D, pois a cada diferente estratégia de ataque simulada, era necessário locar os elevadores cremalheiras em diferentes faces das torres do estudo 4 (Figura 8).
	No estudo 3, o modelo 4D auxiliou na visualização do fluxo de trabalho e do WIP no empreendimento de acordo com diferentes estratégias de ataque, além de mostrar erros de planejamento, como atividade de terraplanagem posterior a execução de radiers (Erro! Fonte de referência não encontrada.).

Figura 3 – modelo BIM 4D da unidade-base do estudo 3. (a) casa modelo A com o sequenciamento correto; (b) casa modelo A com erro no sequenciamento – paredes executadas sem radier. Em verde, cobertura em execução.

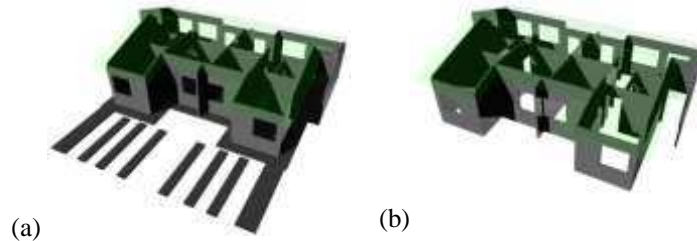


Figura 4 – comparativo do fluxo de trabalho e WIP entre duas unidades-base do estudo 2.

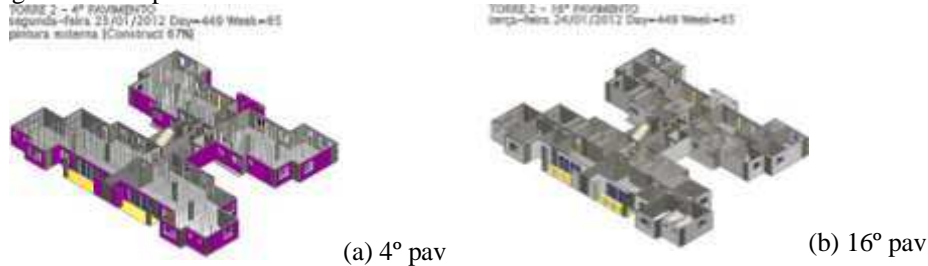


Figura 5- impossibilidade do uso da cremalheira para blocos com dois lotes de produção.

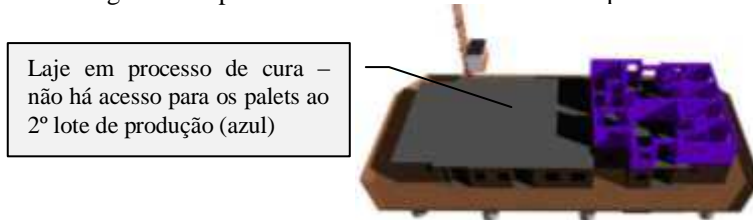


Figura 6 - estudos do replanejamento do reboco de fachada no estudo 2. Em verde, atividades em execução.

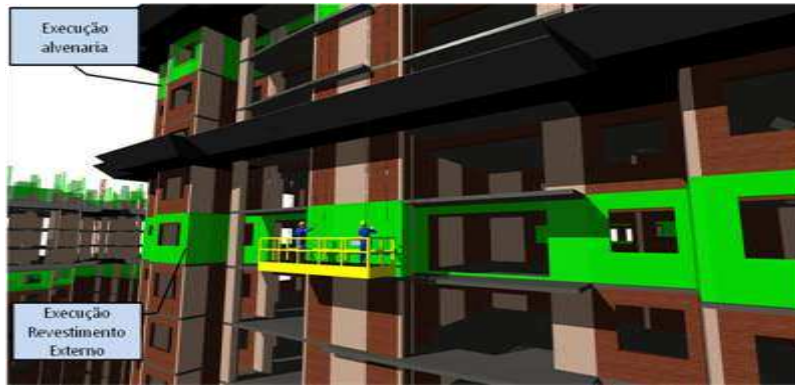


Figura 7 – visualização 4D do plano de longo prazo em três cenários simulados no estudo 1. Em verde, atividades em execução.

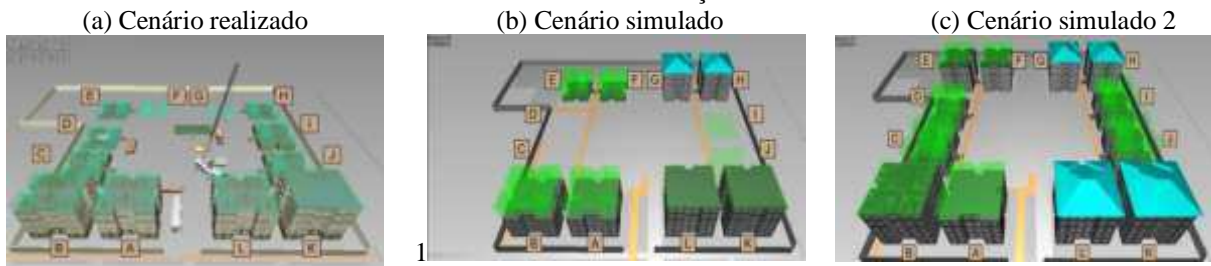
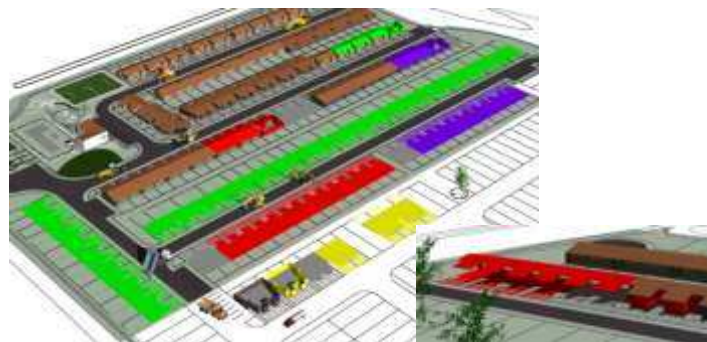


Figura 8 - Áreas de estoque, localização de elevadores cremalheiras e caminhão guindaste no estudo 4.



Figura 9 - Erro na sequência de execução do empreendimento no estudo 3. Radiers iniciando sem o serviço de terraplanagem pronto (figura maior) e cobertura em execução anterior às paredes (figura menor).



6. DISCUSSÃO

No que tange os benefícios da definição da sequência executiva da unidade-base e o pré-

dimensionamento da capacidade de recursos, o modelo BIM 4D facilitou a visualização de erros de sequenciamento dos processos, de conflitos entre equipamentos de transporte, instalações de segurança e tamanho do lote de produção, além de explicitar o trabalho em progresso no mesmo.

Na unidade de repetição da unidade-base (torre, ou blocos de casa) existem unidades que não seguem a sequência de atividades padrão da unidade-base, seja pela diferença de duração dos ciclos ou pela restrição técnica da atividade, como, por exemplo, atividades de fachada, colocação de contra-marcos, entre outros. Pelo uso dos modelos BIM 4D, os fluxos que interceptam as demais atividades podem ser visualizados, e antecipadas possíveis interferências entre as atividades, ou equipamentos e instalações de canteiro, como foi o caso do estudo 2, na simulação do replanejamento da atividade de revestimento externo de fachadas.

Nas decisões do sistema de produção que abordam o empreendimento, a modelagem 4D conseguiu explicitar a estratégia de ataque do empreendimento, os fluxos dos principais equipamentos de transporte, e das atividades de fundação, estrutura, alvenaria, cobertura, entre outras. Assim, foi possível visualizar restrições físicas de canteiro devido aos estoques mal localizados, má combinação entre equipamentos, sistemas construtivos e instalações de canteiro.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os principais benefícios aportados pelo uso dos modelos BIM 4D durante o processo de elaboração do projeto ou gestão do sistema de produção baseado em quatro estudos empíricos. Apesar dos empreendimentos dos estudos estarem em fases de obra distintas, todos obtiveram algum benefício com o uso da modelagem 4D.

Em resumo, se apresentou os benefícios do uso de modelos BIM 4D de acordo com a unidade de análise do sistema de produção (unidade-base, unidade de repetição da unidade-base e empreendimento). Os principais benefícios dizem respeito às decisões de (a) arranjo físico e logística de canteiro, contemplando a definição de equipamentos de acordo com a capacidade produtiva e com as instalações (inclusive de segurança); (b) a definição da sequência das atividades na unidade-base e na unidade de repetição da mesma; e (c) a definição da estratégia de ataque do empreendimento que reflete na conformação dos fluxos de trabalho no canteiro.

O uso da modelagem BIM 3D permitiu à pesquisadora extrair quantitativos de blocos cerâmicos de alvenarias e quantidade de ferragens das lajes para dimensionar a capacidade de transporte que os equipamentos de transporte vertical deveriam ter. Apesar de ter sido uma informação pontual, é sabido que as demais dimensões de informações contidas nos modelos BIM podem auxiliar em muitas outras decisões acerca do projeto e da gestão dos sistemas produtivos.

Através dos modelos BIM 4D, a oportunidade de visualização de problemas no canteiro de obras, antes e durante a execução do empreendimento, permitiu aos envolvidos se embasarem em mais informações para tomada de decisão. Isso fez com que o projeto e a gestão dos sistemas de produção cumpram seu papel de proteger a produção contra os efeitos da variabilidade e incerteza inerentes aos sistemas de produção, além de contribuir na melhoria do desempenho do planejamento e controle da produção (PCP).

REFERÊNCIAS

AGC. **The Contractors' Guide to BIM**, Associated General Contractors (AGC) of America. Disponível em: <www.agc.org>. Acesso em: 20 novembro 2011.

- AOUAD, G.; ARAYICI, Y. **Requirements Engineering for Computer Integrated Environments**. Wiley-Blackwell, 2010.
- ARANDA-MENA, G. CRAWFORD, J. CHEVEZ, A.; FROESE, T. **Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM?** International Journal of Managing Projects in Business, v. 2, n. 3, p. 419-434, 2009. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/17538370910971063>>. Acesso em: 28 julho 2011.
- BACCARINI, D. **The concept of project complexity—a review**. International Journal of Project Management, v. 14, n. 4, p. 201-204, 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0263786395000933>>. .
- BALLARD, G. The Last Planner. **Lean Construction Institute**, 1994.
- BALLARD, Glenn et al. **Production system design in construction**. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9., 2001, Singapura. Proceedings... . Singapura: IGLC, 2001.
- BALLARD, Glenn; PICCHI, Flavio; SACKS, Rafael. **Production System Design**. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Themes/Production%20System%20Design.pdf>>. Acesso em: 09 abril 2012.
- COLLIER, Eric; FISCHER, Martin. **Four-Dimensional Modeling in Design and Construction**. CIFE Technical Report # 101 Salford: Salford University, 1995.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.
- GRAPHISOFT. **The Graphisoft virtual building: bridging the building information model from concept into reality**. Graphisoft whitepaper, 2003.
- GSA. **GSA Building Information Modeling Guide Overview**. Series 01. 2007.
- Isatto, Eduardo Luis et al., **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na: Construção Civil**. Porto Alegre, SEBRAE/RS, 2000.
- KOO, Bonsang; FISCHER, Martin. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. CIFE Technical Report # 118 Salford: Salford University, 1998.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Centre of Integrated Facility Engineering, 1992. Technical Report 72.
- KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 298 f. Tese (Doutorado) - Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2000.
- KOSKELA, L.; BALLARD, G. **What should we require from a production system in construction?** Construction Research, p. 1-8, 2003.
- KUNZ, John; FISCHER, Martin. **Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions**. Stanford: CIFE Working Paper #097, 2011.
- KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations**. McGraw-Hill, 2008. p 6.
- LAUFER, Alexander; TUCKER, Richard L.. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management And Economics**, p. 243-266. 1987.
- LEE, A. MARSHALL-PONTING, A. J. AOUAD, G. et al. **Developing a Vision of nD-Enabled Construction**. Salford, 2002.
- LEE, A.; SEXTON, M. G. **nD modelling: industry uptake considerations**. Construction Innovation: Information, Process, Management, v. 7, n. 3, p. 288-302, 2007. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/14714170710754768>>. Acesso em: 18/10/2011.
- LEINONEN, Jarkko; KÄHKÖNEN, Kalle; HEMIÖ, Tero; RETIK, Arkady. **New construction management practice based on the virtual reality technology**. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. 4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 75-100.
- N. B. I. M. S. **National Building Information Modeling Standard - Version 1 - Part 1: Overview**,

Principles, and Methodologies. 2007.

PAPAMICHAEL, K. **Application of information technologies in building design decisions.** Building Research & Information, v. 27, n. 1, p. 20-34, 1999. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096132199369624>>. .

RILEY, David. THE ROLE OF 4D MODELING IN TRADE SEQUENCING AND PRODUCTION PLANNING. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications.** Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 125-144.

RISCHMOLLER, L., ALARCÓN, L. F., **4D-PS: Putting and IT new work process into effect.** In: International Conference CIB W78, Denmark, 2002. Proceedings... Conference Proceedings – Distributing Knowledge in Building, 2002.

SCHRAMM, F. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TOMMELEIN, Iris D. ACKNOWLEDGING VARIABILITY AND UNCERTAINTY IN PRODUCT AND PROCESS DEVELOPMENT. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications.** Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 165-194.