

**QUALIDADE DE PROJETO NA ERA DIGITAL INTEGRADA
DESIGN QUALITY IN A DIGITAL AND INTEGRATED AGE**

III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído
VI Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção

Campinas, São Paulo, Brasil, 24 a 26 de julho de 2013

MÉTODO PARA O USO DA MODELAGEM BIM 4D NA GESTÃO DA PRODUÇÃO EM EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO¹

Clarissa Notariano Biotto

NORIE – UFRGS

clerwice@gmail.com

Carlos Torres Formoso

NORIE – UFRGS

formoso@ufrgs.br

Eduardo Luis Isatto

NORIE – UFRGS

isatto@ufrgs.br

RESUMO

Building Information Modeling (BIM) é uma nova abordagem para 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 sistemas construtivos. Os modelos 4D são modelos tridimensionais, enriquecidos de informações não-geométricas e ligados ao tempo, e permitem ao modelador visualizar o planejamento da construção. A modelagem 4D com o uso de *softwares* BIM, neste trabalho denominada de modelagem BIM 4D, passou a impulsionar a modelagem 4D, permitindo aos planejadores criarem, revisarem e editarem modelos 4D com mais frequência, favorecendo a elaboração de planos mais adequados. Este artigo apresenta a construção de um método para uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção de empreendimentos de construção, utilizando a *design science research* como modo de produção de conhecimento. No desenvolvimento, quatro estudos de caso foram realizados em diferentes empresas de construção de projetos de edificações residenciais na cidade de Porto Alegre (RS). As principais contribuições do estudo referem-se ao método de gestão da produção com uso de modelos BIM 4D, e os principais benefícios de seu uso conjunto com demais ferramentas de planejamento para auxiliar a tomada de decisão durante a gestão da produção.

Palavras-chave: Modelagem 4D. BIM. Gestão da 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 simulations of alternatives for the construction process. 4D models are three-dimensional models enriched with non-geometric information and related to time, and allow the modeler view the construction planning. The 4D modeling

¹ BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Método para o uso da Modelagem BIM 4D na Gestão da Produção em Empreendimentos de Construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.; ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

with the use of BIM software, this paper called 4D BIM modeling, now drive the 4D modeling, allowing planners to create, edit and revise more frequently 4D models, favoring the development of plans more suitable. This paper presents the construction of a method for using the modeling BIM 4D in production management of construction projects, using the design science research as a mode of knowledge production. In development, four case studies were conducted in different construction companies of residential buildings in the city of Porto Alegre (RS). The main contributions of the study refer to the method of production management with the use of 4D BIM models, and the key benefits of its use in conjunction with other planning tools to support decision-making during the production management.

Keywords: 4D Modeling. BIM. Production Management.

1. INTRODUÇÃO

Na gestão da produção, as decisões são tomadas em três ações genéricas (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 (PSP) deve existir antes do ato produtivo, a operação durante, que nesta pesquisa foi abordado o planejamento e controle da produção (PCP), 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).

Baseando-se no fato de que no setor da construção, as decisões são tomadas com pouca informação, resultando em oportunidades perdidas e em efeitos indesejados (PAPAMICHAEL, 1999), diversas ferramentas podem ser utilizadas para extrair informações e explicitar decisões na gestão da produção, contemplando em especial, a fase de projeto e operação dos sistemas de construção.

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 da produção, pois, de acordo com Baccarini (1996), as características dos empreendimentos complexos demandam ações, métodos, técnicas e ferramentas apropriados para gerenciá-los com sucesso.

Contudo, com poucas notáveis exceções, a maior parte das pesquisas acadêmicas e industriais em projeto assistido por computador (CAD) e visualização da construção lida com o design da edificação e o planejamento da obra na fase de pré-construção (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Tem havido menos esforços para desenvolver ferramentas baseadas em BIM para apoiar a gestão da produção no canteiro (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010).

Além disso, pouco tem sido escrito sobre a inserção e o uso de modelos BIM 4D para apoiar a tomada de decisão e gerenciar a produção com o uso conjunto de diversas ferramentas e técnicas de planejamento mais apropriadas à construção civil que contemple ambas fases de concepção de sistema de produção, operação e controle da produção.

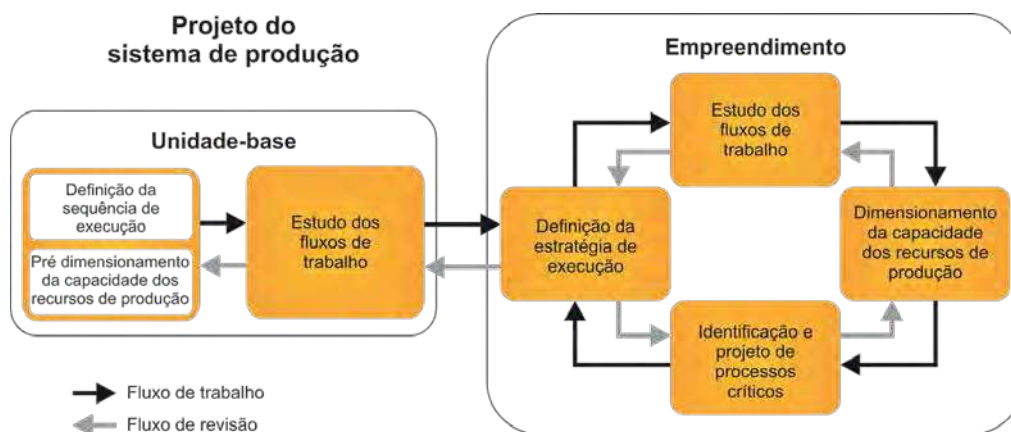
Desta forma, o objetivo deste trabalho foi apresentar um método para gestão da produção com uso da modelagem BIM 4D, além de revelar seus benefícios quando utilizado em conjunto com demais ferramentas de planejamento.

2. GESTÃO DA PRODUÇÃO

Este trabalho está focado em duas, das três ações genéricas da gestão da produção: o PSP e o PCP. O 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).

Schramm (2004) propôs um modelo (Figura 1) de PSP para empreendimentos que possuem características repetitivas, como forma de mitigar a variabilidade inerente aos sistemas produtivos, além de criar condições para seu controle e melhoria.

Figura 1 - modelo de elaboração do PSP para EHIS



Fonte: Baseado em Schramm, 2004.

O modelo é composto por seis fases que definem as principais decisões do PSP. Algumas fases adotam como unidade de análise a unidade base, outras, todo o empreendimento. As alterações nas decisões estabelecidas

em qualquer uma dessas etapas irão repercutir nas demais etapas de decisões do modelo, fazendo com que, após a tomada a decisão, seja realizada a revisão no sentido contrário das etapas (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).

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).

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).

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

A estratégia de pesquisa adota neste trabalho foi a pesquisa construtiva (*constructive research*) (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993; LUKKA, 2003) ou *design science research*, a qual constitui-se em um modo de produção de conhecimento 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). Suas principais atividades é construir e avaliar os "produtos", os quais são artefatos humanos, alguns de caráter teórico, tais como constructos e modelos, e outros de caráter metodológico, como métodos e implementações (MARCH; SMITH, 1995).

A intervenção explícita do pesquisador é uma característica da pesquisa construtiva, sendo que a construção desenvolvida e implementada deve ser considerada como um instrumento de teste e uma tentativa para ilustrar, testar ou refinar uma teoria existente ou desenvolver uma nova teoria (LUKKA, 2003). Portanto, para construir o método para gestão da produção com uso da modelagem BIM 4D, três empresas participaram desta pesquisa, para compor quatro estudos empíricos, como mostra a Quadro 1.

Quadro 2: quadro de estudos realizados e características dos empreendimentos

Estudos	Características dos empreendimentos
EE1 – empresa L, empreendimento L2	fase de construção, prevista para 15 meses; composto por 12 blocos de 5 pavimentos com 4 apartamentos de 2 dormitórios por andar.
EE2 – empresa L, empreendimento L3	fase de construção, com prazo previsto para 24 meses; composto por 2 torres de 19 e 20 pavimentos com apartamentos de 3 e 4 dormitórios por andar.
EE3 – empresa M, empreendimento M1	fase de terraplanagem, com duração prevista de 20 meses; composto por 514 casas geminadas em condomínio fechado.
EE4 – empresa N, empreendimento N1	fase de fundação e terraplanagem, com duração de 24 meses por torre; composto por 9 torres de 8 pavimentos com 6 apartamentos de 2 dormitórios por andar.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As mesmas 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 da modelagem BIM 4D à gestão da produção dos empreendimentos da construção.

Todos os estudos consistiram no desenvolvimento dos planos de longo prazo utilizando modelos BIM 4D, linha de balanço, rede de precedência, planilha de dimensionamento da capacidade de recursos, entre outras ferramentas. Nos estudos 1, 2 e 3, elas foram aplicadas no planejamento de longo prazo do PCP, e no estudo 4, no desenvolvimento do PSP.

O software selecionado para modelagem BIM 4D nos estudos desta pesquisa foi o Navisworks Manage, da Autodesk, que permite a geração de *scripts* para animação de equipamentos do canteiro de obras, utiliza regras para conexão automática dos componentes do modelo BIM 3D com as atividades do planejamento e permite a comparação entre o plano original e o executado utilizando cores para representar atividades atrasadas, no prazo ou adiantadas. O programa também tem grande facilidade em atualizar modelos 3D provenientes do SketchUP e AutoCAD Architecture, software que a pesquisadora utilizou para modelagem BIM 3D, além de importar IFC e arquivos do MSProject.

Os resultados de cada estudo foram avaliados de acordo com a utilidade do uso da modelagem BIM 4D com as demais ferramentas de planejamento durante a gestão da produção.

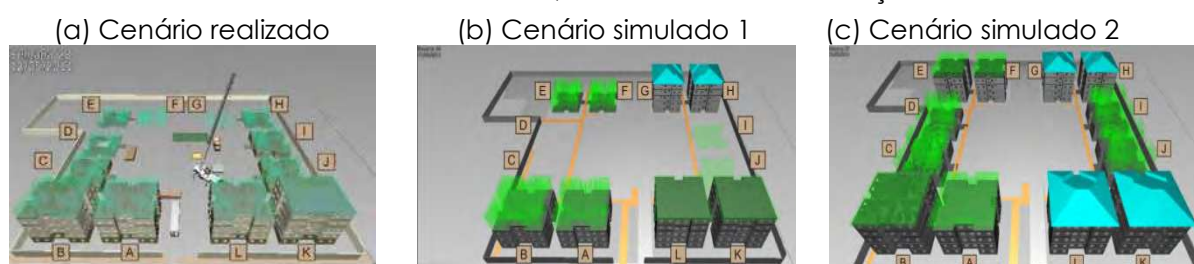
5. RESULTADOS

Os principais resultados obtidos na gestão da produção com uso de diversas ferramentas inclusive os modelos BIM 4D nos estudos empíricos são apresentados a seguir.

5.1 Estudo Empírico 1

Este estudo teve como foco aprofundar-se no software (Autodesk Navisworks Manage) e explorar a modelagem BIM 4D para apoiar o planejamento da obra, simulando três alternativas de planos de longo prazo na linha de balanço e no modelo BIM 4D (Figura 3), junto com o projeto de leiaute de canteiro. Seus resultados contribuiriam no desenvolvimento de um modelo genérico do processo de modelagem BIM 4D que foi utilizado no estudo empírico 2.

Figura 3 – visualização 4D do plano de longo prazo em três cenários simulados no estudo 1. Em verde, atividades em execução

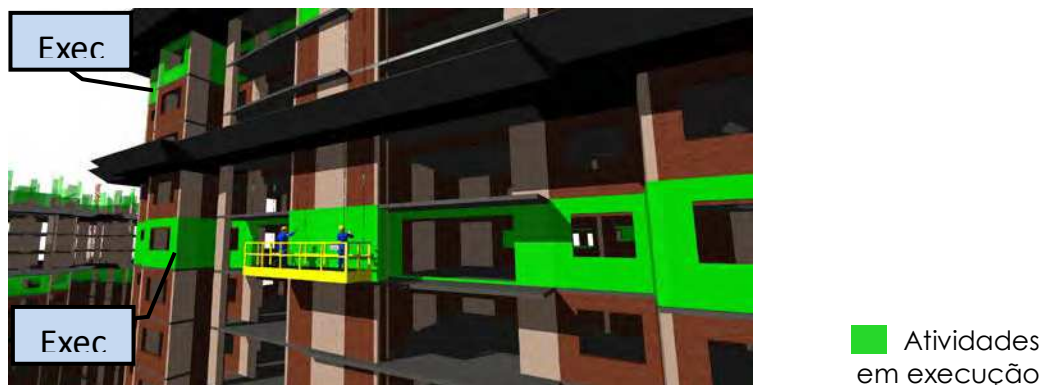


Fonte: elaborado pelos autores.

5.2 Estudo Empírico 2

Neste estudo foi simulado o planejamento da produção com o uso de modelos BIM 4D e analisada uma alternativa de replanejamento da atividade de revestimento externo de fachadas, a qual se mostrou arriscada para segurança dos operários (Figura 4). Para isso, o modelo do processo de modelagem BIM 4D foi utilizado em conjunto com outras ferramentas, como linha de balanço, rede de precedência, planilhas de capacidade, entre outras. O produto do estudo foi um modelo do processo de modelagem BIM 4D no PCP para longo e médio prazos.

Figura 4 - estudo do replanejamento do reboco de fachada no estudo 2

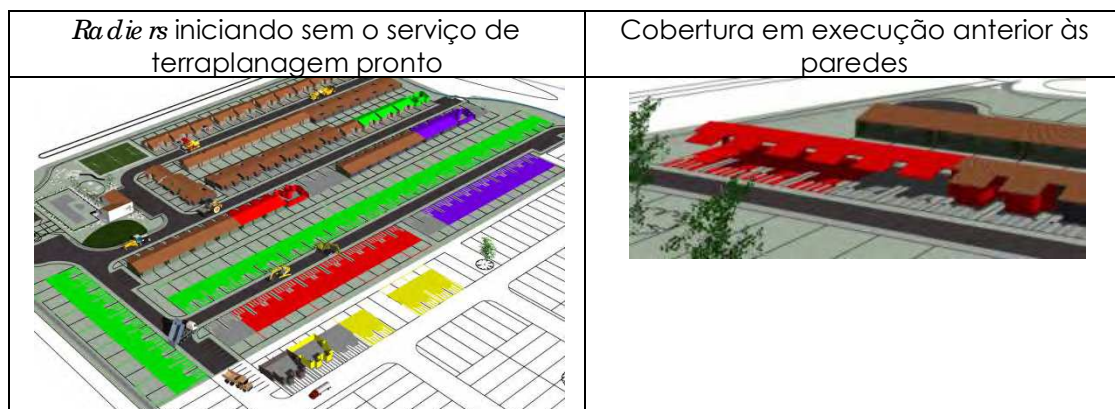


Fonte: elaborado pelos autores.

5.3 Estudo Empírico 3

Neste estudo se visualizou a sequência executiva (Figura 5), o plano de ataque do empreendimento e se simulou alternativas do mesmo, conforme a equipe participante da empresa solicitava. O resultado do estudo foi o modelo do processo de modelagem BIM 4D no PCP (longo prazo).

Figura 5 - Erros na sequência de execução do empreendimento no estudo 3



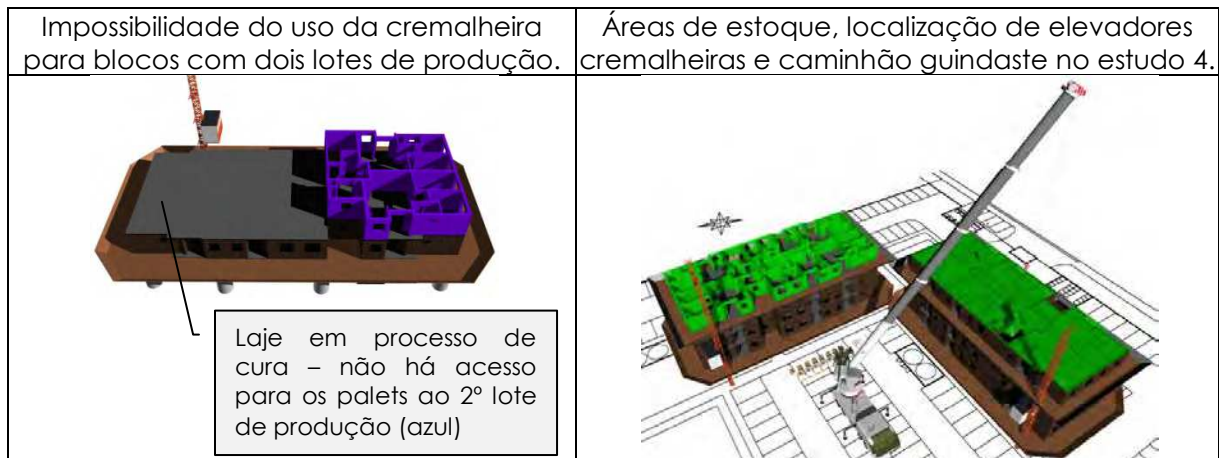
Fonte: elaborado pelos autores.

5.4 Estudo Empírico 4

O foco deste estudo foi na elaboração do PSP junto com os participantes da empresa e escolher a melhor alternativa de equipamentos (Figura 6) e plano

de ataque conforme disponibilidade de mão de obra e ritmo de vendas. O resultado do estudo foi o modelo do processo de modelagem BIM 4D no PSP.

Figura 6- Estudos de alternativas de equipamentos de transporte vertical de carga



Fonte: elaborada pelos autores.

5.5 Método de Gestão da Produção com uso da modelagem BIM 4D

O método construído ao longo dos quatro estudos empíricos é apresentado na Figura 6. Ele está dividido em três etapas: fase de preparação da empresa para utilizar os modelos BIM 4D e outras ferramentas de planejamento, fase de gestão da produção com o uso da modelagem BIM 4D, e, fase de análise de dados e tomada de decisão.

A fase de preparação é para empresa que quer implementar software BIM e realizar o PCP em suas obras. Ela contempla o aprendizado em diversas ferramentas utilizadas na gestão da produção, como a linha de balanço, redes de precedência, planilhas de capacidade de recursos, histogramas de recursos, entre outras. Além disso, nesta fase deve ser claramente definido quem será o usuário dos modelos BIM 4D, qual será o escopo da modelagem, pois o mesmo determinará o nível de detalhamento dos modelos BIM 4D.

Na fase de gestão da produção, decisões acerca da sequência de execução das atividades na unidade base, do dimensionamento da capacidade de recursos, lotes de produção e transferência, do estudo dos fluxos de trabalho, da definição da estratégia de ataque do empreendimento e dos equipamentos de transporte, EPCs, instalações de canteiro, e por fim, do estudo dos processos críticos.

Essas decisões preliminares de planejamento, para elaboração do PSP e/ou plano de longo e médio prazos, devem compor um arquivo de datas das atividades de construção e uso de instalações e equipamentos, pois o mesmo será utilizado na modelagem BIM 4D ao se conectar com o modelo BIM 3D.

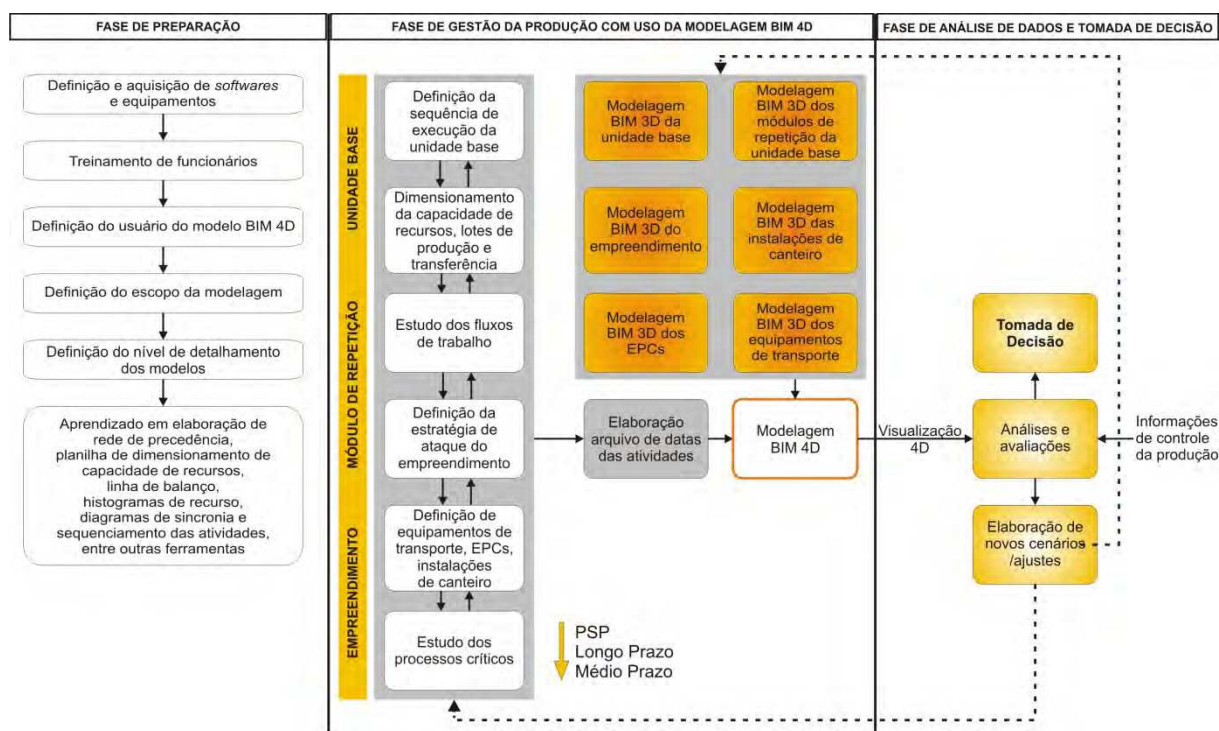
Ainda nesta fase, diversos modelos BIM 3D podem ser modelados conforme o escopo definido na fase anterior. Logo, se for necessário estudar a unidade

base do empreendimento, seu modelo BIM 3D deve ser desenvolvido, em conjunto com a modelagem BIM 3D dos EPCs e equipamentos de transporte, pois os mesmos podem não ser compatíveis entre si ou com o tamanho do lote de produção.

Já para se estudar o módulo de repetição da unidade base (uma torre de apartamentos, por exemplo), todo o módulo deve ser modelado também em conjunto com os EPCs e equipamentos de transporte. E quando o escopo da modelagem for estudar o empreendimento como todo, é importante adicionar ao modelo BIM 4D, as instalações de canteiro com os demais equipamentos.

A última fase, a de análise e tomada de decisão, contempla a visualização 4D dos elementos modelados, e análises e avaliações da mesma em conjunto com as demais ferramentas de planejamento utilizadas. Nesta análise, deve-se considerar informações provenientes do controle da produção para avaliar se as decisões preliminarmente tomadas são as mais adequadas. Caso for necessário, novos cenários, alternativas e ajustes nas decisões e/ou modelagem BIM 4D devem ser executados para se obter mais informações para tomada de decisão.

Figura 7: Método para gestão da produção com uso da modelagem BIM 4D



Fonte: elaborado pelos autores.

6. DISCUSSÃO

No que tange os benefícios de se utilizar o método de gestão da produção com uso da modelagem BIM 4D é a facilidade de visualização de erros de sequenciamento dos processos, de conflitos entre equipamentos de transporte, instalações de segurança e tamanho do lote de produção.

Os modelos BIM 4D também propiciaram a visualização de atividades com risco aos operários, com proximidade a um equipamento, e antecipação de possíveis interferências entre 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 da gestão da produção que abordam o empreendimento, a modelagem BIM 4D conseguiu explicitar a estratégia de ataque do empreendimento e os fluxos dos principais equipamentos de transporte.

No mais, a maior utilidade do método de gestão da produção está no fato do uso da modelagem BIM 4D com as demais ferramentas de planejamento, como a Linha de balanço. Pois através delas é que foi possível planejar os fluxos de trabalho, os ritmos de produção, o número de equipes necessárias, os prazos das obras, a ociosidade da mão de obra e o trabalho em progresso dos lotes de produção. Essas ferramentas são a base para as decisões preliminares da gestão da produção, que são avaliadas espacialmente nos modelos BIM 4D para posterior tomada de decisão.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os principais benefícios obtidos em quatro estudos empíricos aportados pelo uso dos modelos BIM 4D em conjunto com ferramentas de planejamento durante a gestão da produção, contemplada nas fases de PSP e PCP. De uma forma geral, o emprego dessas ferramentas na gestão da produção permitiu a visualização de diversos cenários e alternativas de planos de produção.

Em seguida, foi apresentado o método de gestão da produção baseado no uso da modelagem BIM 4D e demais ferramentas de planejamento. O método abrange as fases de preparação das empresas, as quais devem conhecer todas ferramentas e realizarem o PSP e PCP em suas obras. Na fase de gestão da produção, a utilização de ferramentas como a linha de balanço é imprescindível nas decisões preliminares da gestão da produção, pois é nelas que se busca planejar os fluxos de trabalho e recursos.

O método abrange ainda a fase de análise de dados e tomada de decisão, na qual, através dos modelos BIM 4D, há a oportunidade de visualização espacial de decisões preliminares, sendo percebidos problemas nos canteiros de obras, antes e durante a execução do empreendimento. Nesta fase, os gestores se embasam em mais informações para tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FINEP e a CAPES pela concessão de bolsas de estudos ao Projeto TICHIS.

REFERÊNCIAS

AGC. **The Contractors' Guide to BIM**. Associated General Contractors (AGC) of

America. Disponível em: <www.agc.org>. Acesso em: 20 nov. 2011.

BACCARINI, D. The concept of project complexity—a review. **International Journal of Project Management**, v. 14, n. 4, p. 201-204, 1996.

BALLARD, G. The Last Planner. In: Spring Conference of the Northern California Construction Institute, Monterey, CA, 1994. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.org/media/docs/LastPlanner.pdf>>

BALLARD, G. *et al.* Production system design in construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9., 2001, Singapura. **Proceedings...** . Singapura, 2001.

COLLIER, E.; FISCHER, M. Four-Dimensional Modeling in Design and Construction. **CIFE – Center for Integrated Facility Engineering**, Stanford: Stanford University, 1995, Technical Report # 101. Disponível em: <<http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR101.pdf>>.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2. Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. 684 p.

GSA. **GSA Building Information Modeling Guide Overview**. Series 01. v. 0.60. 2007. Disponível em: <http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_v0_60_Series01_Overview_05_14_07.pdf>.

ISATTO, E. L. *et al.*, **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na Construção Civil**. 1. ed. Porto Alegre: SEBRAE, 2000.

KASANEN, E., LUKKA, K.; SIITONEN, A. The constructive approach in management accounting. **Journal of Management Accounting Research**. v. 5, p. 243-264, 1993.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 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, J.; FISCHER, M. **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**, New York: McGraw-Hill, 2008. 296 p.

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**, p. 243-266, 1987.

LEINONEN, J.; KÄHKÖNEN, K.; HEMIÖ, T.; RETIK, A. **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.

LUKKA, K. The constructive research approach. **In: Case study research in logistics** (edited by Ojala, L.; Hilmola, O-P.). Series B1. P. 83-101. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, 2003.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F.. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266, 1995.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **National Building Information Modeling Standard**. V.1 – Part 1: Overview, principles and methodologies. Washington, 2007. 183 p.

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, D. **The role of 4D modeling in trade sequencing and production planning**. In: ISSA, R. R.a.; FLOOD, I.; O'BRIEN, W. 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... Distributing Knowledge in Building**, 2002.

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. **Automation in Construction**, v. 19, n. 5, p. 641–655, 2010. Elsevier.

SCHRAMM, F. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TOMMELEIN, I. D. **Acknowledging variability and uncertainty in product and process development**. In: ISSA, R. R.a.; FLOOD, I.; O'BRIEN, W. J. 4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 165-194.