

AIMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO NA DEFINIÇÃO DE NOVOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

FAIRBANKS, José Luis (1); CORRÊA, Fabiano (2)

(1) Mestrado Profissional em Inovação na Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, fairbanks@usp.br; (2) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, fabiano.correa@usp.br

Resumo: Estudos realizados no mercado mundial apontam que há um renovado interesse no emprego de pré-fabricados e no desenvolvimento de projetos modulares advindos da ampla e crescente adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM), dada a sinergia inerente desta com processos/sistemas construtivos baseados naqueles. O termo BIM é empregado na literatura técnica e científica tanto como uma inovação tecnológica (ferramenta computacional) quanto como um processo no qual uma edificação é projetada, planejada e construída virtualmente, com o apoio de um conjunto de software. Ainda, o termo Virtual Design and Construction (VDC) aparece nestes mesmos meios como sinônimo do BIM ou com o entendimento de ser um processo ainda mais amplo, envolvendo a modelagem digital do produto, dos processos de produção e da organização subjacente à realização destas atividades. Parte desta ambiguidade está no fato de que, para que as informações sejam produzidas ao longo destas fases de maneira coordenada e integrada, é essencial que existam projetos de processos muito bem desenhados. Embora a forma de implantação do BIM/VDC pelas construtoras e escritórios de projeto não seja única, acredita-se que estas tecnologias da informação serão importantes no entendimento dos novos sistemas construtivos que venham a surgir no contexto de suas adoções, a partir da constatação de que os atuais processos industrializados e a própria organização das indústrias de manufatura estão cada vez mais dependentes do aspecto da Informação (representado pelos sistemas de auxílio computacional ao projeto – CAD, à manufatura – CAM e à Engenharia – CAE). Este artigo, desenvolvido como um estudo preliminar sobre o tema no âmbito de um programa de mestrado profissional, tem como objetivo discutir uma possível ampliação do entendimento de sistemas construtivos com a inclusão do atributo da tecnologia de informação (BIM/VDC). O método empregado para tal fim foi um estudo de caso envolvendo o sistema construtivo steel-frame.

Palavras-chave: BIM, Sistemas Construtivos, Virtual Design and Construction.

Área do Conhecimento: Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos – Processos de Produção – Universidade de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) lida com as problemáticas relacionadas à sua produtividade e capacitação. Ambos problemas são faces de uma mesma moeda: a baixa produtividade causa um incremento nos custos que, por sua vez, retroalimenta a baixa produtividade por meio do desincentivo no investimento em soluções possíveis. Conforme SABBATINI (1989), as empresas de projeto e as construtoras trabalham com um lucro marginal que não lhes permite fazer nada além do estritamente necessário para sobreviverem no mercado.

De acordo com FERRO *et al.* (2010) as técnicas, os métodos e processos construtivos se desenvolveram em um ambiente de *savoir faire* comum, na prática dos oleiros medievais, sem o projeto para o canteiro, mas sim o projeto no canteiro, em escala 1:1. O projeto era desenvolvido ao mesmo tempo de sua aplicação no canteiro, pelos responsáveis pela construção, baseados no empirismo de suas próprias experiências, e comunicados de geração em geração por meio do aprendizado familiar. Assim também aconteceu com as demais áreas do conhecimento.

No entanto, este aparente paradigma foi solucionado em outras áreas, mas nunca foi, até o presente momento, na AECO. Diversas abordagens, em diferentes épocas (e se utilizando de diferentes tecnologias) foram testadas pelo setor e obtiveram lá os seus êxitos. No entanto, o problema da produtividade é recorrente. Conforme descreve SABBATINI (1989, p. 58), "*Parece não ocorrer, para uma grande maioria das pessoas, que um novo modo de construir tem, necessariamente, de apropriar um elevado "quantum" de tecnologia, para realmente representar uma solução, ao invés de se constituir em apenas mais uma ideia mágica.*"

Parece-nos que na AECO, a inequação abaixo que opera nas demais áreas da indústria, ainda não se aplica:

$$Q(\text{uality}) \times S(\text{cope}) > C(\text{ost}) \times T(\text{ime})$$

Ou seja, o incremento da Qualidade e Escopo (S) são aspectos desejáveis, enquanto o incremento de Custo e Tempo, no entanto, são elementos não desejáveis (KIERAN e TIMBERLAKE, 2004). Em vez disso, a inequação acima toma a forma de uma igualdade, onde (Q)ualidade x (E)scopo = (C)usto x (T)empo. Decorre daí sua ineficiência quando comparada a outros setores industriais. Assim, apesar de a aplicação de inúmeros Sistemas Construtivos no decorrer de sua história, a AECO até hoje se vê às voltas com o problema da produtividade, que foi sempre a mola motriz para a evolução tecnológica.

A velocidade de projeto e construção do *Empire State Building*, em New York nos anos de 1930-31, nunca foi quebrada por nenhum empreendimento de igual complexidade (SACKS e PARTOUCHE, 2010). Em um estudo sobre os documentos da época, SACKS e PARTOUCHE (2010) evidenciam que a equipe de projeto colaborativa representou uma inovação importante, implicando na baixa variação de projeto, em fluxos contínuos de informação de pequenos lotes e tempos de ciclo curtos para lidar com erros. Este é um caso icônico para o entendimento de que os atributos de um sistema construtivo, neste caso as práticas de *Lean Construction* (mesmo que não reconhecidas como tal à época), podem potencializar o desempenho.

Um sistema construtivo é, pela definição adotada neste trabalho, “um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo” (SABBATINI, 1989). Esta definição parte da existência, muito bem definida, de três atributos: “uma tecnologia de produção (dos componentes e elementos); um projeto de produto (o edifício) e uma organização de produção (do edifício)” (W ARSZAWSKI, 1977 *apud* SABBATINI, 1989). Não há, portanto, menção à necessidade ou à importância das chamadas Tecnologias da Informação (TI). No entanto, entende-se que o aumento da complexidade no projeto e construção dos edifícios modernos é apenas parte da explicação do fato de o recorde do *Empire State Building* não ter sido superado até hoje, e que a real causa pode estar na baixa valorização do potencial que as Tecnologias da Informação têm em contrapõem-se justamente a este aumento de complexidade.

Estudos realizados no mercado mundial (McGRAW-HILL CONSTRUCTION, 2011) apontam que há um renovado interesse no emprego de pré-fabricados e no desenvolvimento de projetos modulares advindos da ampla e crescente adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM). É antiga a história da aplicação da pré-fabricação e modularização na produção do setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), para lidar com a baixa produtividade. O emprego de uma TI como o BIM, cria uma sinergia com os processos construtivos industrializados, o que aponta para a importância da TI. O termo BIM é empregado na literatura técnica e científica tanto como uma inovação tecnológica (ferramenta computacional) quanto como um processo no qual uma edificação é projetada, planejada e construída virtualmente, com o apoio de um conjunto de aplicativos. Ainda, o termo *Virtual Design and Construction* (VDC) aparece nestes mesmos meios como sinônimo do BIM ou com o entendimento de ser um processo ainda mais amplo, envolvendo a modelagem digital do produto, dos processos de produção e da organização subjacente à realização destas atividades. Parte desta dualidade (ferramenta de auxílio computacional/processo) está no fato de que, para que as informações sejam produzidas ao longo de todo o ciclo de vida da edificação de maneira coordenada e integrada, é essencial que existam projetos de processos muito bem desenhados e que eventualmente se altere a organização para a produção do edifício. Embora a forma de implantação do BIM/VDC pelas construtoras e escritórios de projeto não seja única, acredita-se que estas Tecnologias da Informação serão importantes no entendimento dos novos sistemas construtivos que venham a surgir, a partir da constatação de que os atuais processos industrializados e a própria organização das indústrias de manufatura estão cada vez mais dependentes do aspecto da informação (CARR, 2003).

Somando-se a isto o fato de que se acredita que a solução para os problemas de produtividade, atraso na entrega das obras e estouro nos orçamentos, é por meio da industrialização e do maior emprego de pré-fabricados, propõe-se discutir, sob uma nova ótica, o que viria a ser um sistema construtivo no atual contexto. Este artigo, desenvolvido como um estudo preliminar sobre o tema no âmbito de um programa de mestrado profissional, tem como objetivo discutir uma possível ampliação do entendimento de sistemas construtivos com a inclusão do atributo da tecnologia de informação. O método empregado para tal fim foi um estudo de caso envolvendo o sistema construtivo em *steel-frame* empregado na pré-fabricação em larga escala de casas e na construção automatizada de edifícios de escritórios no Japão.

2. TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO

É preciso considerar novas possibilidades de aprimoramento do processo produtivo da AECO com o objetivo de torná-la mais eficiente e aproximá-la dos conceitos de industrialização dos setores Automotivo e a Aeroespacial e Naval (GANN, 1996). O desenvolvimento tecnológico da área de CAD propiciou o aprimoramento das técnicas de planejamento e produção da AECO (KIERAN, TIMBERLAKE, 2004; KUNZ, FISCHER, 2012). Graças à capacidade instalada e acessibilidade de *hardware* bem como o desenvolvimento de novas ferramentas de produção, o desenvolvimento do processo de produção de projeto nos últimos 40 anos evoluiu do CAD ao BIM (EASTMAN *et al.*, 2008).

Os sistemas de auxílio computacional ao projeto (CAD), à manufatura (CAM) e à Engenharia (CAE) começaram a surgir no início da década de 1960, e os seus subsequentes desenvolvimentos transformaram as indústrias automobilística, naval e aeroespacial. Com o emprego destes sistemas, os processos internos às indústrias de manufatura acabaram por serem transformados, citando como exemplo a maior interação entre projeto e fabricação por meio da possibilidade de integração CAD/CAM com a conseqüente possibilidade de redução considerável do *time-to-market*.

Ao contrário do que se imagina, o desenvolvimento do BIM não foi uma evolução natural dos sistemas CAD. Já em 1970, Charles Eastman já se preocupava em criar um sistema integrando o desenho conceitual a um banco de dados de informações associadas. Eastman criou então o BDS (*Building Description System*), primeiro *software* pré-BIM, desenvolvido apenas como aplicação de conhecimentos científicos. Na linha evolutiva do BIM vieram então outros produtos e linguagens que relacionavam o desenho CAD a um banco de dados, até a criação do primeiro *software* BIM para computadores pessoais, o ArchiCAD, em 1984 (BERGIN, 2012).

Dentro da AECO, entretanto, a evolução tecnológica do que veio a ser universalmente chamado de BIM, foi algo muito particular. O esforço estava focado no compartilhamento da informação, já que a fragmentação na AECO é muito grande. E ainda no trabalho cooperativo entre os profissionais das diferentes disciplinas (IKEDA *et al.*, 1996). Estes esforços acabaram por convergir o desenvolvimento em paralelo do BIM num resultado de modelagem orientada à objetos, que introduz componentes com uma semântica muito bem definida (acrescenta-se um objeto "parede" ao modelo, e não apenas uma forma geométrica relacionada ao conceito "parede"). No entanto, várias outras nomenclaturas surgiram no período, dentre elas VDC e CIC, que hoje podem até ser reconhecidas como representando conceitos distintos.

EASTMAN, *et al.* (2014) definem BIM "**como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção.**" No entanto, Campbell (2006 *apud* EASTMAN *et al.*, 2014, p. 13) retrata o BIM apenas como nova ferramenta computacional. Entende-se que, conforme ressaltado acima, certas ferramentas computacionais propiciam, e até demandam alterações dos fluxos de trabalho, o que acaba por promover um potencial inovador no desempenho do projeto e da construção.

Com o emprego do BIM, favorece-se uma nova forma de contratação, o IPD (*Integrated Project Delivery*), onde a Engenharia e a Construção são realizadas pela mesma empresa, ou existe uma parceria previamente estabelecida que divide os riscos e os lucros de um empreendimento amplamente planejado. Além disso, todos os envolvidos são incentivados a colaborar antecipadamente nas tomadas de decisão e na resolução de conflitos tanto na fase de projeto quanto na de planejamento. Por meio da interoperabilidade é possível integrar diferentes *softwares* e manter a integridade da informação, agilizando, por exemplo, a fabricação digital de componentes pré-fabricados.

As inovações tecnológicas das TIs perpassaram a simples representação ou modelagem digital da forma do Produto (o edifício), alcançando a Organização e os Processos de produção (POP). Assim, surge também o VDC, que tem sido um termo utilizado preferivelmente pelos profissionais que lidam diretamente com esta tecnologia na construção civil (KHANZODE *et al.*, 2006). KUNZ define VDC como sendo: "**o uso de modelos integrados de desempenho multidisciplinar de projetos, de construção e organizacional para apoiar objetivos de negócios explícitos e públicos**". (2012, p. 1). Importante destacar que todos os atributos essenciais de um sistema construtivo acabam por serem representados ou modelados no ambiente virtual de um sistema de informação e, a partir desta integração, surge o potencial de inovação.

No Japão principalmente, onde os processos de automação e robotização avançaram bastante dentro da AECO, consolidou-se também o conceito do CIC (*Computer Integrated Construction*), criado com base no CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) da indústria automotiva. Ao contrário do VDC, no CIC é utilizada vastamente a pré-fabricação de partes dos subsistemas da construção. Na construção automatizada de edifícios, estes componentes são suspensos e montados *in loco* pelo sistema automático de transporte, posicionamento e montagem no canteiro (YAMAZAKI, 2013). O VDC, por mais que modele o processo de produção, não entra nesta parte de controle efetivo da produção, porque a produção convencional é, em geral, manual. Para que seja possível a automação que o CIC proporciona é necessária a centralização de um banco de dados compartilhado. (MIYATAKE, 1992).

Enxerga-se uma hierarquia entre estes três conceitos: BIM, VDC e CIC. Há uma migração para a integração com os processos de fabricação, do BIM para o VDC, e um cenário de montagem no canteiro do CIC (ou na produção *off-site*) onde o sistema de produção é automatizado, eventualmente com o emprego de robôs, e onde o sistema computacional controla a máquina ou o robô que realiza a operação.

3. ESTUDO DE CASO

O sucesso, por mais de 40 anos, das empresas japonesas de pré-fabricação de casas em larga escala (LINNER e BOCK, 2012), o avanço para uma Construção Automatizada empregando robôs no canteiro para a construção de edifícios de escritório e a relação das empresas japonesas com o emprego da TI levou à nossa escolha em apresentar o estudo de caso para embasar a hipótese apresentada neste artigo.

No setor residencial de construção de casas unifamiliares no Japão, existe uma somatória de fatores que corroboram para o sucesso da industrialização da construção residencial customizada. No caso do Japão, alguns fatores socioeconômicos e culturais contribuíram para criar uma cultura e um forte mercado para residências unifamiliares pré-moldadas. Os japoneses são apegados à terra, mas não consideram a construção como algo incorporado ao lote, logo, se utilizam muito da renovação por meio da demolição e reconstrução sobre o mesmo lote com uma tal intensidade que acabou impulsionando o mercado residencial a se renovar a cada 20 ou 30 anos (JOHN-SON, 2007).

Quatro inovações foram determinantes para o sucesso das empresas japonesas: o sistema construtivo M1, de casas pré-fabricadas modulares, desenvolvido em 1968 pelo Dr. Kazuhiko Ohno e logo adotado pela empresa Sekisui Heim, que passou a produzi-lo em larga escala; o Sistema Toyota de Produção (TPS), com a proposta do *Just-In-Time* (JIT) e a subsequente reorganização da cadeia de produção; o uso de sistemas baseados em TI (em particular o HAPPS, da Sekisui Heim) para possibilitar o alto grau de personalização existente na produção de casas pré-fabricadas; e a integração do cliente dentro do sistema computacional das empresas.

Primeiramente, será apresentado o desenvolvimento do sistema CAD-BIM da Sekisui House, posteriormente o sistema HAPPS (ERP-BIM) que permite eficiência no modelo de negócios de casas personalizadas da Sekisui Heim, e, por fim, o sistema SMART para Construção Automatizada, da Shimizu Corporation.

3.1 BIM na Sekisui House

No Japão, a indústria da construção de residências pré-fabricadas é dominada por grandes corporações que vieram de outros setores como a Mitsubishi, a Toyota, a Daiwa, a Sekisui Chemicals, entre outras. A Sekisui Chemical deu origem a duas empresas no setor de pré-fabricação de casas: Sekisui House e Sekisui Heim. Atualmente, a Sekisui House é uma empresa independente.

A reconstrução do país no pós-guerra e a Guerra da Coreia geraram excedente na produção de aço, o que levou as empresas a criarem subsidiárias para a construção de casas pré-fabricadas empregando o sistema construtivo *steel-frame*. Esta tradição de produção industrial evoluiu para a produção em massa customizada de modo que as residências tenham aparências e funcionalidades quase que totalmente moldadas ao gosto e necessidades do cliente. Os primeiros sistemas construtivos para pré-fabricação de casas originalmente utilizavam-se de madeira como matéria-prima estrutural e de vedação (*wood frame*).

A produção de casas com qualidade e valor agregado veio pela produção de unidades altamente customizáveis, o que adicionou ingredientes de complexidade ao setor. Empresas como a Sekisui Heim/House criaram seus próprios sistemas CAD-CAE-CAM, sua própria padronização (projeto modular) e etiquetagem de partes, blocos e subsistemas da construção de modo a possibilitarem a produção mais customizada possível, dentro da padronização de partes e blocos construtivos. Dessa forma, a diferente combinação entre partes e blocos ainda no projeto, dão origem a ordens de produção de peças e partes que são unidas na fábrica e montadas em blocos, para serem transportadas e montadas no canteiro (FURUSE e KATANO, 2006).

O sistema CAD desenvolvido pela Sekisui House, possui um histórico paralelo ao BIM, mas muito mais antigo. Na cronologia de desenvolvimento podemos identificar o sistema original em 2D já em 1972 (AUDESEI I). O sistema evoluiu para o AUDESEI III (1979) até atingir o primeiro modelo totalmente em 3D ainda em 1993. Nesta época, já possuía características paramétricas como especificações automáticas, até 8 vistas externas em perspectiva e estimativa de custos extraídas diretamente do modelo 3D. Em 1998 foi criado o SIDECS, primeiro *software* BIM da Sekisui. Hoje a empresa se utiliza do sistema SIDECS 2010, comparável aos demais sistemas BIM de mercado como o Revit da Autodesk ou o ArchiCAD da Graphisoft. O estudo comparativo da Sekisui (AMEMIYA, 2013) demonstra que, em termos de horas trabalhadas, o sistema é ainda mais eficiente que o Revit. A principal vantagem do sistema, porém, é a integração, pelo sistema HAPPS, do projeto à produção (CAD ao CAM), passando por todas as demais análises disponíveis nos sistemas BIM como estudo de massas na concepção do projeto, análise energética, as *built* para operação e manutenção e opções de ampliação e reforma futuros.

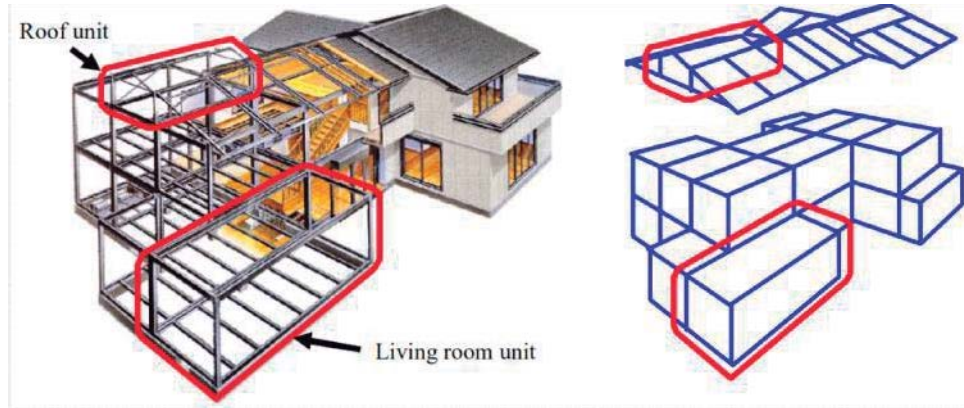
3.2 O Sistema HAPPS da Sekisui Heim

As casas vendidas pela Sekisui Heim são constituídas por módulos tridimensionais, chamados de “Unidades”, que são pré-fabricadas seguindo customização do cliente e montadas no canteiro. Cada unidade é composta de uma estrutura em *steel-frame* autoportante, alinhada, encaixada ou sobreposta à outras unidades, que, ao final, compõem a casa. Existe a opção de escolha entre 70 tipos de Unidades, das quais 40 são cuboides variando em extensão, largura e altura, e as demais são em formatos trapezoidais, entre outros (Figura 1).

A tecnologia “HAPPS”, utilizada pela *Sekisui Heim Residential Houses*, foi desenvolvida pela própria empresa para reduzir os erros recorrentes na seleção de componentes quando da introdução de uma nova classe de casas. Como a introdução de novas classes de casas é frequente, os erros tendiam a se repetir, o que levou a empresa a desenvolver o HAPPS. Em termos de fluxo interno de produção, primeiramente os arquitetos da empresa projetam uma casa personalizada para o cliente a partir de uma classe específica, que combina unidades-padrão. Na tração deste projeto para a seleção dos componentes corretos, havia sempre um erro recorrente de 5%, que cor-

tava os lucros da empresa. Pior ainda, com a introdução de novas classes, havia um erro inicial de 30% até que a equipe assimilasse as particularidades desta nova introdução. A Sekisui decidiu-se então por adquirir 70% das ações de uma empresa especializada no desenvolvimento de sistemas especialistas, baseados em “base de conhecimento” (*Knowledge Base – KB*), para criar o HAPPS (FEIGENBAUM *et al.*, 1995).

Figura 1 – Método da "Unidade"

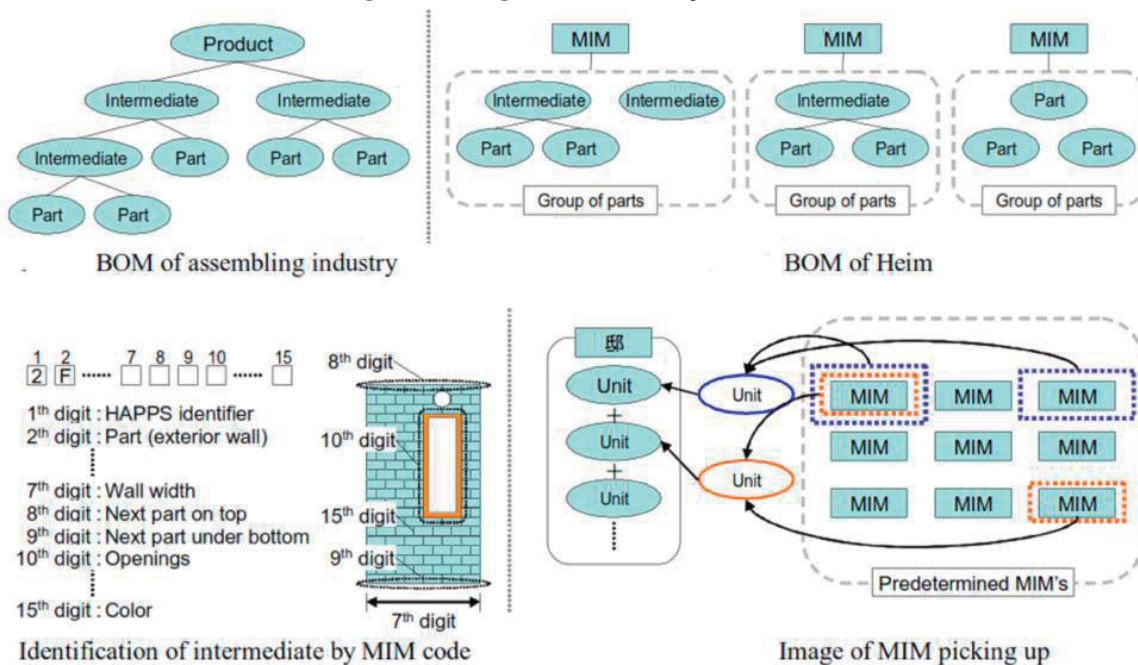


Fonte: FURUSE, J., (2006)

Segundo FURUSE (2006), o HAPPS permite a customização de residências em um alto nível performático, permitindo a opção de junção de aproximadamente 30 mil partes por casa, dentre as mais de 300 mil partes pré-listadas nos bancos de dados da empresa.

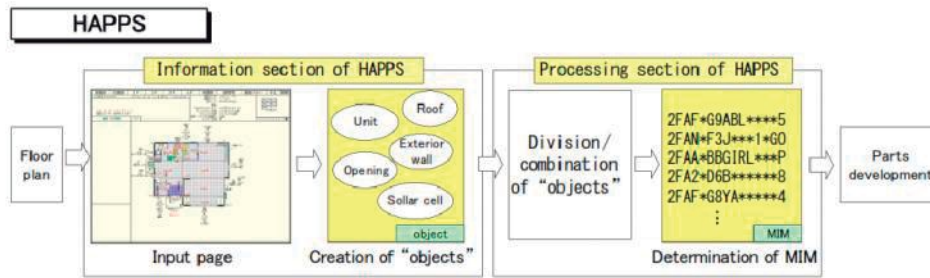
No HAPPS todas as partes são processadas separadamente, por pavimento. Alguns postos-chave são de importante inteligência no sistema: a etiquetagem ou BOM (*Bill Of Materials*) provê uma mixagem de peças ultra refinada, o que possibilita liberdade de projeto e customização. O conceito de BOM é comum em outras indústrias, tendo como princípio a “explosão” do produto em blocos e partes. No caso do HAPPS foi necessária uma adaptação do conceito de forma a criar blocos "imaginários", que é um grupo de partes intimamente relacionadas. Os códigos identificadores dessas partes são chamados de códigos MIM (*Menu Item Master*). Os códigos MIM são formados por vários dígitos que indicam, por exemplo, em uma parede, seus elementos adjacentes, cor, dimensões, condições de contorno e ligação, etc. Cada dígito indica um atributo e seu valor, o tipo do atributo, conforme figura 2 abaixo.

Figura 2 – Lógica da codificação MIM

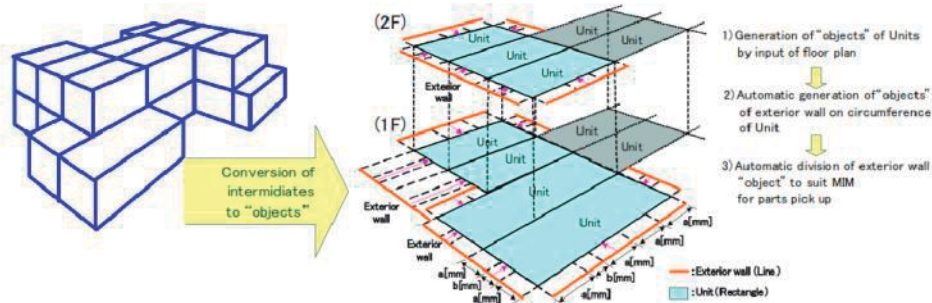


Fonte: FURUSE, J., (2006)

Figura 3 – Sistema HAPPS



Heim Automated Parts Pickup System 'HAPPS'



Conversion of intermediates to "objects"

Fonte: FURUSE, J., (2006)

No sistema HAPPS o CAD é atrelado à "objetos", criados a partir das entidades geométricas do desenho. Assim temos, por exemplo, as linhas externas das Unidades associadas ao objeto "parede externa". Cada tramo de linha no desenho corresponde a uma parede externa que, por sua vez, corresponde a um MIM. Assim, os objetos são relacionados aos MIMs em proporção de 1:1 – cada objeto equivale a um MIM (que é um grupo de partes). Pela composição de MIMs e suas relações de ligação, precedência e outros atributos, os objetos acabam criando um modelo virtual da casa, para a produção automática, na fábrica (sistema CAD-CAM).

Finalmente, a integração da informação do HAPPS com o calendário de produção gerará instruções para os trabalhadores e o maquinário na fábrica, em forma binária (CAM) ou impressa, reforçando a característica *just-in-time* da *Lean Production*. Quanto à confiabilidade e eficiência do HAPPS, os números o atestam: a taxa de erro de operação em 2015 foi de 0,017 erros por casa e a taxa de respostas corretas dos MIMs foi, no mesmo ano, de 99,5%. Foram investidos cerca de US\$ 3,5 milhões de dólares no desenvolvimento do HAPPS e de ferramentas similares (para sistema construtivo *wood-frame* e pequenos edifícios). A economia gerada pela redução dos erros recorrentes a quase 0% é de US\$ 8 milhões de dólares anuais (FEIGENBAUM *et al.*, 1995).

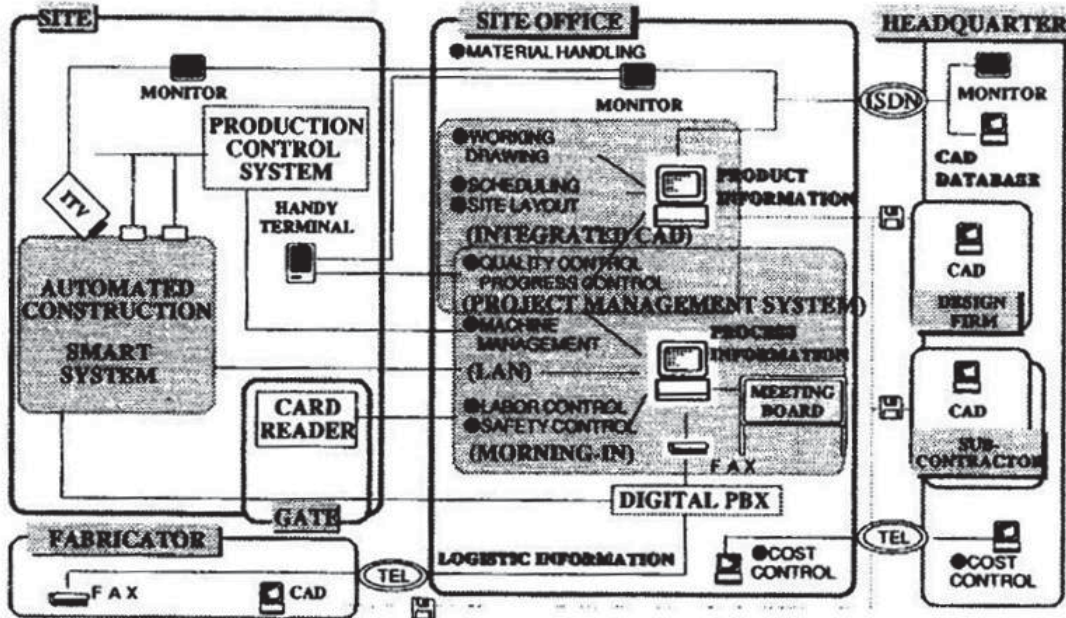
3.3 O sistema SMART da Shimizu

Após o sucesso das empresas de casas pré-fabricadas em larga-escala e da tentativa de introdução de robôs para tarefas específicas no canteiro de obras, as maiores construtoras do Japão perceberam que seria necessário criar um ambiente de fábrica, estruturado, no canteiro para tirar maior proveito dos recém-criados robôs para tarefas específicas. Estes robôs, apesar de aumentarem a produtividade das tarefas nas quais eram aplicados, não estavam originalmente conectados a outros sistemas, exigiam um tempo considerável para serem transportados e configurados para iniciar a operação, e ainda atrapalhavam as atividades em paralelo no canteiro. Era preciso integrá-los por meio de um sistema que empregasse TI.

A empresa Shimizu desenvolveu o sistema SMART (*Shimizu Manufacturing system by Advanced Robotics Technology*) para a construção de edifícios (MIYATAKE *et al.*, 1993). Ele integra uma ampla gama de atividades de projeto, planejamento e gestão da construção do edifício, além de controlar os sistemas de automação no canteiro de vários processos de construção. Duas razões para sua adoção são levantadas: permitir o desenvolvimento de sistemas construtivos eficientes completamente diferentes e ganhar uma enorme vantagem em diferentes setores da companhia ao viabilizar a comunicação e a troca de informações.

Da forma como a empresa entende o seu sistema, um CIC, ele é uma estratégia para associar os recursos, as tecnologias, os processos e a organização existentes, para otimizar o *marketing*, as vendas, o planejamento, a gestão, a engenharia, o projeto, o *procurement* e contratação, a construção, a operação e a manutenção da edificação (MIYATAKE *et al.*, 1993). A Figura 4 ilustra a integração da informação dentro do sistema SMART da Shimizu.

Figura 4 – A integração de informação no sistema SMART da Shimizu



Fonte: MIYATAKE *et al.* (1993)

Lista os seguintes benefícios esperados do sistema (MIYATAKE *et al.*, 1993):

- **Operacionais:** (1) Aumento da produtividade no projeto e construção por meio da automação; (2) redução de custos; (3) otimização do tempo de projeto e planejamento; (4) melhoria na qualidade do projeto e da construção; (5) melhoria na coordenação e na gestão; (6) projeto integrado; (7) flexibilidade no projeto e construção de novos edifícios; (8) desempenho simultâneo de vários departamentos; (9) melhoria na comunicação pela rápida transmissão e disponibilidade de dados, imagens e conhecimento; (10) evitar reentrada de dados nos processos de projeto e construção; (11) oportunidades para emprego da robótica; (12) oportunidades para se associar eletronicamente com subempreiteiros, fornecedores, seguradoras, bancos, vendedores e investidores.
- **Estratégicos:** (1) melhora da vantagem competitiva no mercado pela especialização no CIC; (2) ganho de *expertise*; (3) melhor relacionamento com o cliente; (4) melhora na imagem da empresa; (5) aumento da fatia do mercado; (6) menor dependência de trabalho especializado; (7) mantendo-se na dianteira no uso de tecnologia; (8) melhorando de uma otimização local (sistema individual por departamento) para uma otimização global (sistema integrado no nível da companhia);

4. PROPOSIÇÃO

Para SABBATINI (1989), técnicas, métodos e sistemas são conceitos interdependentes e inter-relacionados, constituindo uma mesma unidade, em escalas diferentes. Assim, "Técnica Construtiva", "Método Construtivo", "Processo Construtivo" e "Sistema Construtivo" são conceitos complementares e com relação de subordinação entre si. Portanto, fica claro que o método corresponde a um conjunto de processos operacionais, com uma determinada sequência. O autor alerta para a relação de subordinação da técnica ao método construtivo, uma vez que o método construtivo se aplica às partes da edificação.

Um sistema construtivo pode ser amplamente beneficiado pelo processo e forma de desenvolvimento de um projeto uma vez que trata de complexidades superiores e, como tal, exige uma integração de diferentes disciplinas desde a sua concepção. Em outras palavras, o BIM, o VDC e o CIC, como tecnologias de desenvolvimento de produtos e processos, têm muito a contribuir com o conceito de Sistema Construtivo uma vez que permitem o gerenciamento e modificação automáticos no projeto.

Temos, portanto, que a sincronização imediata e interdisciplinar proporcionada pelo BIM, pelo VDC e pelo CIC constituem não somente um avanço tecnológico, mas como também uma necessidade para aplicação efetiva de um determinado sistema construtivo nos dias de hoje, como sugerimos inicialmente.

Propõe-se assim, com base no que foi exposto ao longo do artigo, que a definição de Sistema Construtivo possa ser: "*Um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados, dentro de um sistema de tecnologia da informação, pelo processo.*"

5. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposta uma revisão da definição de Sistemas Construtivos, de modo a considerar a importância que as Tecnologias da Informação, em particular BIM, VDC e CIC, têm na AECO e, no geral, para as indústrias da manufatura. Após a apresentação dos conceitos de BIM, VDC e CIC, foram evidenciados, por meio de exemplos, as transformações que sofrem: o produto (modular, com largo emprego de pré-fabricação), a tecnologia de produção (construção automatizada com emprego de robôs), e a organização da produção (JIT, com a reorganização das construtoras como "montadoras" das casas ou edifícios, e a cadeia produtiva responsável por entregar componentes com vários graus de complexidade à linha de produção) para estarem em sinergia com a Tecnologia da Informação. Aponta-se como importante neste trabalho, o direcionamento da Construção para o processo de industrialização como forma de lidar com os problemas recorrentes.

6. REFERÊNCIAS

- AMEMIYA. **BIM Revolution for Japanese House Maker**. Tóquio, 1 nov. 2013. 30 p. (IDDS & BIM Oneday Seminar).
- BERGIN, M. **A Brief History of BIM**. Public. por Architecture Research Lab. Berkeley, CA. Disponível em <<http://www.architectureresearchlab.com/arl/2011/08/21/bim-history/>>, Última atualização em 07/12/2012, Última verificação em 16/06/2017.
- CARR, N. **IT Doesn't Matter**. Harvard Business Review, May 2003.
- EASTMAN, C. M. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. Hoboken, N.J: Bookman; Wiley, 2008.
- FEIGENBAUM, E.; RICH, E.; WIEDERHOLD, G.; HARRISON, M. **Advanced Software Application in Japan**. Noyes Data Corporation, 1995.
- FERRO, S.; COSTA, J. P. de O.; LEFEVRE, J. E. de A.; CONTIER, L. A. **A história da arquitetura vista do canteiro: Três aulas de Sérgio Ferro**. São Paulo: GFAU, 2010. 120 p. ISBN 9788560467013.
- FURUSE, J.; KATANO, M. **Structuring of Sekisui Heim automated parts pickup system (HAPPS) to process individual floor plans**. *International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, p. 352-356, Tóquio, 2006.
- GANN, D. M. Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan. **Construction Management and Economics**, 14, 437-450, 1996.
- IKEDA, M.; SEKIHARA, Y.; ITOH, N. **Construction planning system for high-rise buildings using an object-based model**. *Proceedings of the International Workshop W78*, CIB, p.283-296, 1996.
- JOHNSON, W. **Lessons from Japan: A comparative study of the market drivers for prefabrication in Japanese and UK private housing development**. London, UK, 2007. 58 p.
- KHANZODE, A.; FISCHER, M.; REED, D.; BALLARD, G. **A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process**. Relatório Técnico, Stanford, CA, USA, 2006. 47 p.
- KIERAN, S.; TIMBERLAKE, J. **Refabricating architecture: How manufacturing methodologies are poised to transform building construction**. New York: McGraw-Hill, 2004. xiii, 175 p.
- KUNZ, J.; FISCHER, M. **Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions**. 14. ed. Relatório Técnico, Stanford, CA, USA, 2012. 53 p.
- LINNER, T.; BOCK, T. Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry. **Construction Innovation**, 12 (2), p. 156-178, 2012.
- MIYATAKE, Y. **An automated construction system for hi-rise buildings: An example of Computer Integrated Construction**. *Proceedings of the CIB World Building Congress*, Montreal, Canadá, 1992.
- MIYATAKE, Y.; YAMAZAKI, Y.; KANGARI, R. **The SMART system project: a strategy for management of infor-**

mation and automation technology in computer integrated construction. *Proceedings of the first International Conference on the Management of Information Technology for Construction* (CIB W 78), 1993.

MCGRAW-HILL CONSTRUCTION. **Prefabrication and Modularization:** Increasing Productivity in the Construction Industry. Relatório Técnico, Bedford, USA, 2011. 56 p.

SACKS, R.; PARTOUCHE, R.; Empire State Building Project: Archetype of “Mass Construction”. **Journal of Construction Engineering and Management**, 136 (6), 2010. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000162.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. Tese de doutoramento, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 1989. 207 p.

YAMAZAKI, Y. **3D/BIM applications toward construction innovation**. Tóquio, Japão, 1 nov. 2013. 32 p. (IDDS & BIM Oneday Seminar).