

O PAPEL DA AUTOMAÇÃO E DA ROBÓTICA NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES¹

CORRÊA, Fabiano (1)

(1) USP, e-mail: fabiano.correa@usp.br;

RESUMO

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) vem transformando profundamente a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção. Um aspecto relevante deste fato é que com o uso de computadores, grande parte dos processos inerentes à construção de uma edificação pode ser realizada com maiores previsibilidade e controle das informações produzidas ao longo de todo o processo. Acredita-se que o BIM possa ser a porta de entrada para as tecnologias de automação e robótica na construção de edificações, permitindo assim também um maior controle das atividades finais, propriamente da produção de componentes e da construção e/ou montagem da edificação em si. O emprego destas tecnologias na construção em alguns países sinaliza uma aproximação desta com as práticas experimentadas pelas demais indústrias. Este artigo contribui no sentido de explicitar o uso do BIM em países como o Japão, que são bastante desenvolvidos no emprego da automação e robótica na construção, por meio de apresentação da literatura relacionada, do estudo de um caso específico, e do relato de visitas técnicas realizadas pelo autor ao local.

Palavras-chave: Automação e Robótica. BIM. Industrialização da Construção.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) have truly changed the industry of Architecture, Engineering and Construction. One relevant aspect of this fact is that with the use of computers, a large part of the processes inherent to the construction of a building could be conducted with more predictability and control of the information generated throughout the whole process. It is believed that BIM could also be the entrance for the automation and robotic technologies in construction, thus allowing better control of the final activities, i.e., the fabrication of components and the assembly or construction of the building itself. The employment of these technologies in construction in some specific countries points to approaches adopted by the other industries. This paper contribution consists in turning explicit the BIM uses in Japan, which is very advanced in the employment of automation and robotics in construction, by means of literature review, a case study, and information obtained in technical visits made by the author to that country.

Keywords: Automation and Robotics. BIM. Industrialization.

¹ CORRÊA, F.R.. O papel da automação e da robótica na construção de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A Modelagem da Informação da Construção ou simplesmente BIM (*Building Information Modeling*) vem transformando profundamente a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tanto no exterior quanto no Brasil (EASTMAN *et al.*, 2011).

Um aspecto bastante relevante deste fato é que com o uso de computadores, grande parte dos processos inerentes ao ciclo de vida da edificação podem ser realizados com maiores previsibilidade e controle das informações produzidas. No ambiente virtual, estas informações encontram-se integradas e são facilmente visualizadas favorecendo as tomadas de decisão e à coordenação destes processos.

Soluções alternativas ao BIM, mas consonantes ao projeto auxiliado por computador (CAD) e à engenharia auxiliada por computador (CAE), existem mundo afora, e foram desenvolvidas ao mesmo tempo sob o termo Construção Integrada por Computador ou CIC (*Computer Integrated Construction*), procurando trazer para o ambiente da Construção, o diferencial tecnológico que já existe nas demais indústrias (YAMAZAKI *et al.*, 2014).

Na interface entre soluções de software e hardware, estão as tecnologias da automação e da robótica, amparadas pela manufatura auxiliada por computador (CAM), que possibilita um controle maior sobre a produção em termos de precisão e qualidade. Devido às particularidades da indústria da AEC, o CAM ainda não é explorado adequadamente, mas tem sido parte das recentes discussões envolvendo a industrialização da Construção (CIB, 2010).

Assim, o emprego destas tecnologias na Construção, em países como a Alemanha e principalmente o Japão, sinaliza uma aproximação desta com as práticas de industrialização, que transformaram as demais indústrias em termos de produtividade e redução dos custos de produção. Soluções para a pré-fabricação de componentes, para a prestação de serviços e até automação da produção e montagem com robôs no canteiro de obra já existem, mesmo que economicamente viáveis apenas em projetos muito particulares (BOCK; LINNER, 2015a; BOCK; LINNER, 2015b).

No sentido de apresentar os principais elementos da automação e da robótica em geral, e das particularidades de seu emprego na Construção, bem como do contexto propício ao seu desenvolvimento que necessitaria de uma alteração da cadeia produtiva inteira, este artigo contribui no sentido de explicitar o uso do BIM no Japão (semelhante ao que acontece na Ásia como um todo), por meio de apresentação da literatura relacionada, do estudo de um caso específico, e do relato de visitas técnicas realizadas pelo autor ao local.

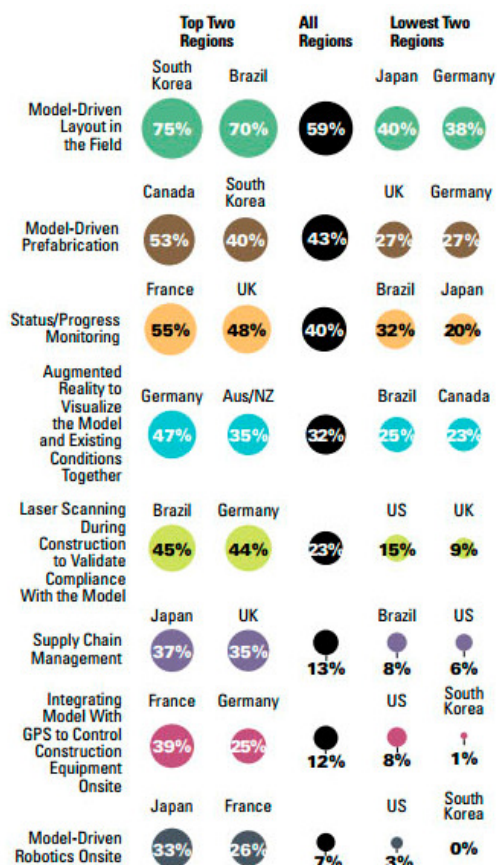
2 BIM/CAD 3D PARA FABRICAÇÃO

Dentre as muitas facilidades que o conceito, e conseqüentemente as ferramentas computacionais, de projeto assistido por computador (CAD) traz consigo, está sua capacidade de gerenciar e auxiliar projetos complexos, como por exemplo edifícios e torres altas com fachadas e estruturas de formas livres. Em edificações convencionais, não se opta no geral por esta liberdade devido aos custos e dificuldades envolvidas (MIYAKAWA *et al.*, 2000).

Neste contexto, o BIM vem sendo empregado com diferentes finalidades mundo afora, tanto em fases de concepção, quanto de execução de obras. Segundo os números obtidos no relatório técnico da McGraw Hill Construction (2014), os usos mais recorrentes nas fases de concepção e pré-construção são: coordenação entre diferentes disciplinas (60%), visualização da intenção do projeto (52%), determinação de quantitativos do modelo (30%), integração do modelo com o plano de ataque da obra (29%), e integração do modelo com custos (24%).

Como estes números representam a média entre os diferentes países, é importante destacar que segundo a maturidade do uso do BIM em cada país, e da cultura da construção local, estas porcentagens variam bastante. As construtoras brasileiras que usam BIM, por exemplo, empregam os modelos nas fases iniciais de projeto e planejamento da construção principalmente para integração com o plano de ataque da obra (72%) e com os custos (52%), em contraposição, por exemplo a 21% e 9%, respectivamente, nos EUA.

Figura 1 – Usos dos modelos BIM pelas construtoras mundo afora durante a fase de construção



Fonte: MCGRAW HILL, 2014.

A Figura 1 ilustra alguns dos usos mais recorrentes, na fase da construção, dos modelos BIM pelas construtoras (MCGRAW HILL, 2014):

- Disposição e posicionamento dos elementos conduzidos pelo modelo;
- Monitoramento do estado ou do progresso da construção;
- Uso de realidade aumentada para contrapor o modelo e as condições existentes na obra;
- Uso de varredura a laser para validar a aderência ao modelo projetado;
- Gerenciamento da cadeia produtiva;
- Integração do modelo com o GPS para controlar equipamentos de construção no canteiro;
- Robótica dirigida por meio do modelo BIM.

Estes usos ligados à fase de construção estão relacionados à eventual utilização das tecnologias de automação e robótica na Construção. E os dois últimos usos apresentados seriam aqueles mais ligados à interface software / hardware e à tecnologia da robótica.

Os percentuais apresentados na Figura 1 para estes usos são bem baixos: em geral, 12% para controle de equipamentos por meio de GPS, e 7% para controle de robôs. A exceção é o Japão onde o uso do modelo BIM para conduzir os robôs no canteiro está em 33%.

O uso do modelo BIM para a pré-fabricação (53% deste tipo de uso no Canadá) é um uso bastante interessante e consonante com a discussão de ter-se o BIM como potencializador da entrada de tecnologias como a automação e a Robótica na construção. Segundo outro relatório técnico da mesma McGraw Hill Construction (2011), com o desenvolvimento e a adoção do BIM por muitos entes relacionados à Construção, o emprego da pré-fabricação, que já é antigo e corriqueiro em alguns países, ganhou um impulso ainda maior, e vem trazendo mais benefícios à cadeia produtiva. E são realmente os fabricantes de equipamentos mecânicos e elétricos, estruturas de aço e painéis externos que se beneficiam do emprego do BIM devido à dificuldade de coordenação de informação nos paradigmas anteriores da Construção (YAMAZAKI *et al.*, 2014).

Elemento importante neste panorama, e que não é no geral explicitado, é que nos países asiáticos, e no Japão em particular, as empresas que pré-fabricam casas e desenvolvem soluções de automação no canteiro, desenvolveram ao longo das últimas décadas soluções computacionais próprias de auxílio ao projeto e à manufatura. Hoje, elas as chamam de BIM, e estas plataformas que coordenam todo o ciclo de vida da edificação configuram-se num segredo industrial, conforme o autor constatou em recente visita técnica ao país.

Um fator que impede o desenvolvimento de todo o potencial destas ferramentas de auxílio por computador, é esta constante necessidade de transformar as informações de um meio digital (modelo BIM) para um meio analógico (pranchas de desenhos) e vice-versa. Além da propensão a perdas de informação, também incorrem em custos mais elevados e assim impedem a sinergia entre software e hardware, que existiria em cenários automatizados e com emprego de robôs (BOCK; LINNER, 2015a).

Este cenário, no entanto, começa a ser alterado com a adoção de diversos sensores no canteiro de obra, capazes de alimentar os sistemas computacionais com informações do que efetivamente está sendo construído, e até a obtenção em tempo real (NAWAZ *et al.*, 2015; STONE; JUBERTS, 2002).

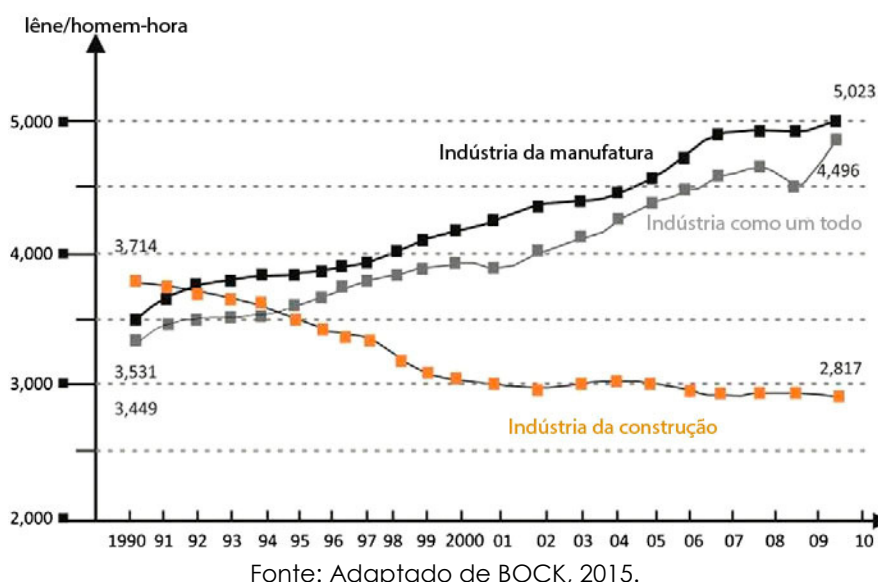
Entende-se que atualmente o BIM tem um papel similar ao CAD/CAE na indústria da AEC. Assim, na maior parte dos casos dentro do paradigma do BIM, a produção ou manufatura é realizada à margem de máquinas de controle numérico ou robôs (CAM), perdendo-se tanto o controle sobre o produto final, quanto a consistência da informação da construção associada à edificação construída.

3 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

O desempenho da Construção está abaixo dos números apresentados pelas demais indústrias. Tome-se como exemplo a produtividade da mão-de-obra empregada na Construção, mundialmente (Figura 2). O gráfico registra um declínio considerável entre 1990 e 2000, e um leve declínio nestes últimos 10

anos. Enquanto que as demais indústrias apresentar um aumento constante de produtividade. Isto se deve ao fato da Construção ainda empregar muita mão-de-obra pouco qualificada, e as demais indústrias empregarem as tecnologias de automação e robótica, em substituição à mão-de-obra humana.

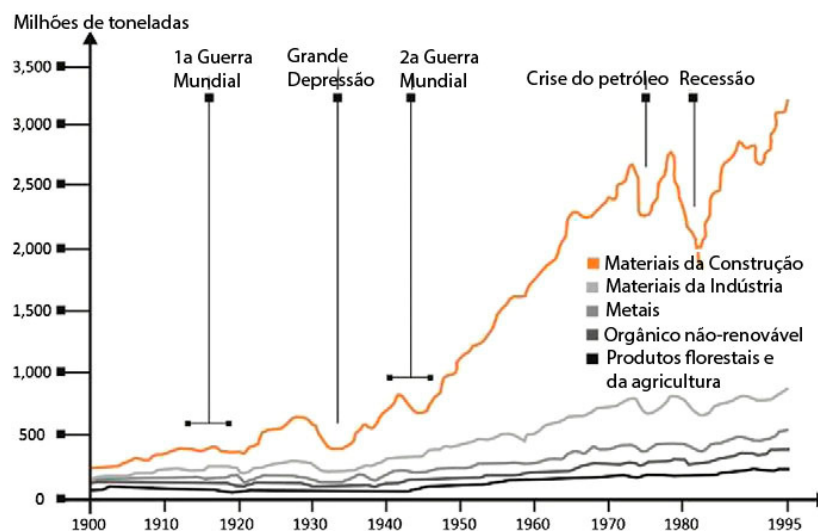
Figura 2 – Produtividade da mão-de-obra comparativa entre as demais indústrias e a Construção



A Figura 3 ilustra o emprego de matéria-prima, comparativamente entre as indústrias. Todas as indústrias, à exceção da Construção, tiveram apenas um pequeno acréscimo de emprego de matéria-prima ao longo dos últimos 100 anos; enquanto que a construção aumentou em mais de 7 vezes o seu consumo. A figura destaca alguns eventos importantes que explicam picos nos valores apresentados pelo gráfico, como as guerras mundiais, e a crise do petróleo.

Entende-se que esta clara distinção não é apenas fruto das particularidades da indústria da Construção, mas sim também de uma cultura que se perpetua, e que dificulta o investimento em e a assimilação de novas tecnologias por parte da mesma. Acredita-se que solução para esta situação aponta na direção da adoção de práticas industriais à mesma.

Figura 3 – Consumo de matéria-prima comparativo entre as demais indústrias e a Construção nos EUA.



Fonte: Adaptado de BOCK, 2015.

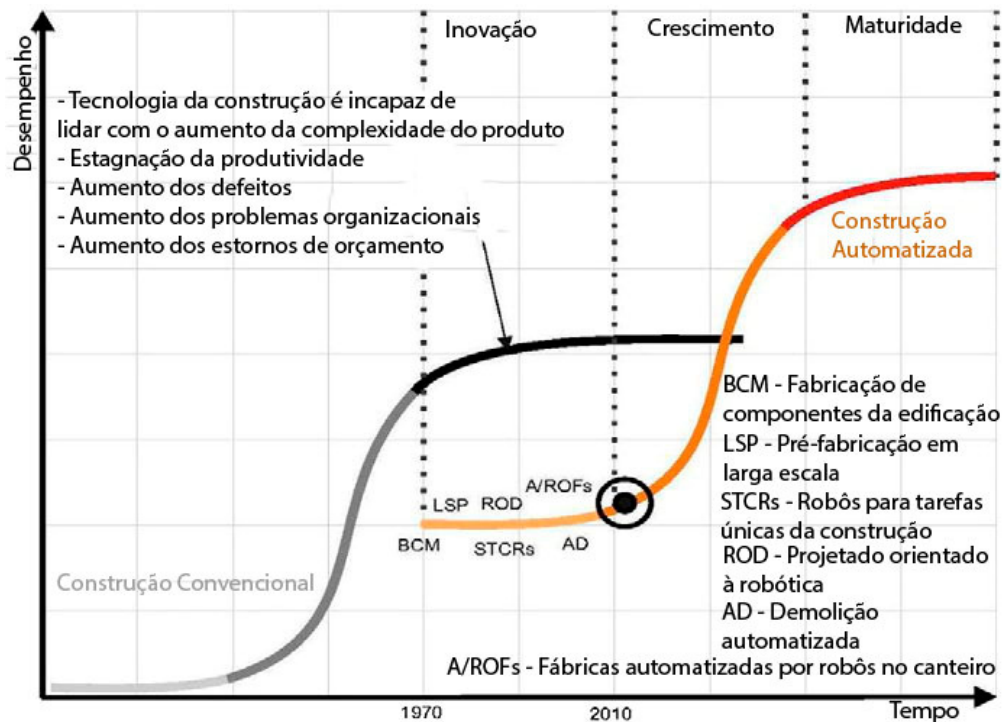
Embora não exista um consenso e seja de difícil definição, a Industrialização da Construção poderia ser entendida como uma mudança da mentalidade e das práticas atuais no sentido de produzir um ambiente construído de alta qualidade e personalizado, por meio de processos integrados e de otimizações na padronização dos componentes, na organização, no custo e valor agregado aos componentes e produto final, e no emprego de mecanização e automação (BUSHWELL *et al.*, 2010).

Considerando as iniciativas no sentido de industrialização da construção, e as dificuldades que vem sendo encontradas (CIB, 2010), é importante destacar que este cenário é aparentemente temporário e que todo o investimento em pesquisas relacionada à automação e emprego de robótica na Construção estão perto de trazer o retorno financeiro. A curva mostrada na Figura 4 (BOCK, 2015) representada uma comparação entre o sistema de construção atualmente empregado pela Construção e o que está convencionando chamar-se de Construção Automatizada.

Repare que inicialmente, no estágio em que nos encontramos, tudo o que foi desenvolvido em termos de automação e robótica para a Construção não elevou esta nova forma de construção a um patamar superior aos processos antigos, seja porque as soluções são isoladas, seja porque as soluções ainda têm um caráter experimental e de pesquisa. Como argumenta Bock (2015), é comum a todo processo de inovação, chegar um momento no qual os avanços se multiplicam e se integram permitindo um ganho exponencial de desempenho e assim ultrapassando definitivamente a tecnologia anterior.

Segundo Bock e Linner (2015), é necessário que exista uma sinergia entre Produto, Organização, Informação e Maquinário para que a indústria da construção tire partido do potencial existente das mesmas. Avanços nas três primeiras áreas, que já ocorreram na construção, desprovidos do maquinário, não causam o verdadeiro impacto.

Figura 4 - Curva de inovação (BOCK, 2015)



Fonte: Adaptado de BOCK e LINNER, 2015a

Em termos de Informação e Organização, acredita-se que esta mudança vem acontecendo com a adoção do BIM (e de paradigmas e tecnologias afim). Como exemplo de alterações no produto, pode-se citar o seguinte exemplo: a produção de submarinos foi transformada durante a I Guerra Mundial a partir de mudanças no processo de produção. Henry Ford conseguiu um contrato para promover um incremento de mais de 10 vezes no volume de produção anual. E para isso, teve o aval para alterar o projeto do submarino, implementando três linhas paralelas de montagem, e criando kits de componentes que iam de uma estação de trabalho para outra, bem como empregando chapas planas que podiam ser produzidas no local por máquinas da época (BOCK; LINNER, 2015a).

Parte desta transformação do produto “edificação” passa pelo emprego maior de pré-fabricação, padronização e modularização, e neste ponto o BIM tem alavancado o uso mesmo em países que já adotavam este tipo de solução (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2011). Ou seja, uma maior padronização dos processos de produção e montagem facilitaria o processo de industrialização (BOCK; LINNER, 2015a).

O Japão, como exemplo de sucesso, onde transformações vem acontecendo a várias décadas, inclusive na parte de maquinário com o emprego de diferentes sistemas robotizados, vale ser mencionado. A maior parte das empresas japonesas que pré-fabricam casas são subsidiárias de empresas do ramo química, de materiais e até eletrônica e automobilística, como o caso da Panasonic e Toyota, respectivamente. Desta forma, as subsidiárias acabam consumindo grande parte dos produtos da matriz, ou são *show-room* de suas tecnologias. Em casos assim, é possível obter um efeito multiplicador de desempenho (PME) onde receitas são geradas pela

empresa matriz que as aplica na pesquisa de soluções tecnológicas em suas subsidiárias (BOCK; LINNER, 2015a). O desenvolvimento destas tecnologias é mais importante do que os custos iniciais de operação das mesmas.

Em resumo, entendendo o edifício como o produto, seria preciso repensá-lo para tirar maior proveito da existência de robôs capazes de montar módulos para o comporem. Em termos de organização, seria necessário reestruturar a cadeia produtiva para considerar um novo produto e uma nova maneira de se construí-lo. O BIM seria a inovação da informação, que realmente já entrega todo o seu potencial se na ponta da produção de componentes, módulos, e em última instância a edificação, existe uma maneira automática a partir de informação digital para produzi-los, sem a necessidade de transformar o digital em analógico (pranchas) e depender de mestre de obras que muitas vezes que realizam o serviço diferentemente do projetado.

Conforme explicitado por Bock e Linner (2015), o maquinário que em último caso é a robótica, é a parte deficitária nesta complementaridade. Dentre os mais de 150 robôs testados para diferentes funcionalidades, poucos são comercialmente viáveis por ainda não se ter atingido a sinergia entre Produto, Organização, Informação e Maquinário.

Pensando na indústria da Construção como um todo, Bock (2015) enxerga o desenvolvimento de maquinário em quatro possíveis situações:

- Produção automatizada fora do canteiro (off-site): Existem diversas fábricas de pré-fabricados, trabalhando com materiais como madeira e aço que produzem (BOCK; LINNER, 2015b). Por exemplo, a Sekisui Home produz casas pré-fabricadas a partir de um estrutura metálica.
- Robôs especializados para realizar tarefa única: Mais de 150 robôs (BOCK; LINNER, 2015a) foram desenvolvidas para realizar tarefas específicas. A quase totalidade destes robôs não são comercialmente viáveis. Por exemplo, um robô para pintura de fachadas, desenvolvida pela Taisei;
- Construção automatizada no canteiro (on-site): um estudo de caso deste sistema será apresentado a seguir, neste artigo;
- Sistemas mecatrônicos para o ambiente construído: Os principais sistemas mecatrônicos em desenvolvimento estão focados em aspectos de reabilitação e cuidados de saúde para uma população idosa (BOCK, 2015).

4 APRESENTAÇÃO E ESTUDO DE CASO

Em particular, propõe-se apresentar o caso específico do sistema ABCS, para ilustrar o nível de automação e uso da robótica na construção em canteiro. É importante salientar que o caso relatado e analisado não tem uma relação direta com o uso do BIM.

4.1 Construção automatizada no canteiro (*on-site*)

Conforme Linner (2013), existem dezenas de exemplos de sistemas de construção automatizadas, restritos, no entanto, a alguns países do mundo:

- Japão (*Automated Building Construction Systems – ABCS e Big Canopy*, da Obayashi; *Akatuki 21*, da Fujita; *Future Automated Construction Efficient System – FACES*, da Goyo/Penta Ocean; *Mast Climbing Construction System – MCCS*, da Maeda; *Roof Push-up*, da Takenaka; *Roof-Robo*, da Toda; *Shimizu Manufacturing System by Advanced Robot Technology – SMART e SMART Light*, da Shimizu; *Totally Mechanised Construction System for High-rise Buildings – T-up*, da Taisei; *Automatic Up-Rising Construction by Advanced Technique – AMURAD*, da Kajima; *J-UP*, da Sekisui House);
- Holanda (*System Netherlands*, da Royal BAM Group);
- Coréia do Sul (*Robotic and Crane based Automatic Construction System – RCACS*, de um consórcio de empresas liderado pela Coréia)
- Suécia (*System Skanska*, da Skanska).

A seguir, será analisado o sistema ABCS, desenvolvido pela empresa japonesa Obayashi. Ele consiste na implementação de uma “fábrica” sobre os primeiros pavimentos da edificação em construção. Tal sistema objetiva uma automatização em grau elevado da montagem da edificação no canteiro, por meio da instalação de uma fábrica no canteiro, com logística, posição de vigas e pilares, solda automatizados e um processo de controle em tempo real (BOCK et al., 2011).

Normalmente são levantados de dois a três pavimentos de maneira convencional para posterior montagem do sistema sobre os pavimentos existentes.

O elemento central do SCF (*Super Construction Factory*) é o Sistema de Entrega Paralelo que assegura que os materiais são entregues do solo até o pavimento correto e também na posição exata naquele pavimento. Como é necessário um alto grau de precisão nesta tarefa, é empregado um sistema de varredura laser.

Alguns detalhes dos componentes destes sistema:

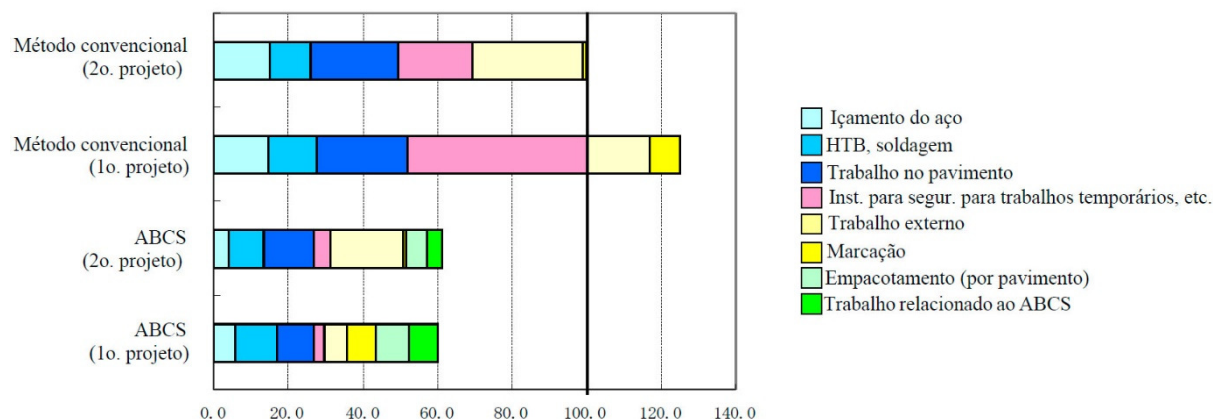
- SCF: medindo 33 m de comprimento, por 96 m de largura e 28 m de altura, o sistema pesa 2.200 toneladas, incluindo todo o aparato dos demais dispositivos. Ele provê um ambiente selado das intempéries e ao final da construção, transforma-se no próprio topo do edifício;
- Sistema de içamento: os pilares de apoio, erigidos sobre os pilares de aço da edificação, penetram na estrutura do SCF. No topo de cada pilar existe um mecanismo de içamento. Inicialmente ele havia sido instalado em todos os pilares da edificação, mas em um processo de otimização, foi possível empregar o sistema apenas em metade dos pilares;
- SCF Cranes: foram empregadas três guas, duas de 13 t com braços rotativos e uma de 7,5 t, com mecanismo onde as vigas deslizam

lateralmente. No pavimento de construção, as gruas realizam o transporte horizontal e a instalação dos pilares e vigas de aço, da laje de concreto pre-moldado, e dos painéis externos na fachada do edifício. Os movimentos longitudinais e transversais das gruas são programados para operação automática. O içamento de material do primeiro pavimento para o pavimento em construção usa velocidade de 70 m/min para trazer os componentes de aço, a laje de concreto pré-moldado, etc..;

- Grua do tipo Jib: é usada para desmontagem da porção temporária do SCF, e içamentos dos painéis externos, e do esqueleto de aço do poço de elevador;
- Talhas para instalação dos painéis externos: os painéis são instalados no exterior com auxílio de talhas especiais;

Com o uso deste sistema, é possível realizar a construção dos pavimentos num ambiente controlado e previsível, com grande parte da movimentação de material de maneira automática e ensaiada em software. Segundo Miyakawa et al. (2000), no segundo projeto desenvolvido com este sistema, os ganhos já foram visíveis. O tempo de execução da obra foi bastante reduzido e consistente na comparação entre os dois empregos até então da tecnologia no canteiro (Figura 5). A diferença entre os dois explica-se pelo nível de aprendizado contínuo sobre o emprego do sistema ABCS.

Figura 5 – Tempos associados à execução das tarefas comparando o método tradicional com o ABCS.



Fonte: Adaptado de MIZAKAWA, 2011.

Partes deste avançado sistema de construção foram implementados na construção da Tokyo Sky Tree; à época, com 634 m, era a segunda maior estrutura na Terra construída pelo homem. O BIM foi empregado em muitas fases da construção desta torre, principalmente pela necessidade de gerenciar a complexidade de detalhes e quantidade de elementos para a construção (BOCK et al., 2011).

5 CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado o contexto no qual a automação e a robótica podem desempenhar um papel relevante e transformador na indústria da Construção.

O sistema ABCS de automação do canteiro foi analisado como exemplo da aplicação da automação e da robótica na Construção.

Destacou-se que o BIM vem realizando o papel na transformação da informação e da organização da construção, e que pode ser a porta de entrada para as tecnologias da automação e da robótica de uma maneira mais pervasiva. Plataformas BIM desenvolvidas pelas empresas japonesas apontam para isso.

É necessário ainda entender que impactos estas tecnologias poderiam ter na Construção no Brasil, e se considerada relevante, qual o caminho para a sua introdução. O autor acredita que o BIM possa ter um papel integrador ou facilitador deste processo.

REFERÊNCIAS

- BOCK, T. Construction robotics and automation: past-present-future. In: WORLD AUTOMATION CONGRESS, 2004. **Anais ...** volume 15, p. 287-294, Sevilha: IEEE, 2004
- BOCK, T. The future of construction automation: technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. **Automation in Construction**, 59, p. 113-121, 2015.
- BOCK, T.; LINNER, T. **Robot-oriented design**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1a. ed., 2015a.
- BOCK, T.; LINNER, T. **Robotic Industrialization**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1a. ed., 2015b.
- BOCK, T; LINNER, T.; MIURA, S. Robotic high-rise construction of pagoda concept: innovative earthquake-proof design for the Tokyo Sky Tree. In: COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT, 2011. **Anais ...** Seoul: 2011.
- BUSWELL, R.; GIBB, A.; AUSTIN, S.; THORPE, A. Applying future industrialised processes to construction. In CIB Publication 329, 2010.
- CIB. New perspective in industrialisation in construction – a state-of-the-art report. CIB Task Group 57 "Industrialisation in Construction", CIB Publication 329, Technical Report, 2010.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM handbook** – a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Wiley, 2a. ed., 2011.
- JUNG, W.; LEE, G. The status of BIM Adoption on six continents. **International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering**, vol. 9 (5), 2015.

LINNER, T. **Automated and robotic construction**: integrated automated construction sites. Tese, Munique: Universidade Técnica de Munique, 2013.

MCGRAWHILL CONSTRUCTION. Prefabrication and Modularization: increasing productivity in the construction industry. Technical Report, 2011.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. The Business value of BIM for construction in major global markets: how contractor around the world are driving innovation with Building Information Modeling. Technical Report, 2014.

MIYAKAWA H.; OCHIAI J.; Oohata K.; SHIOKAWA T. Application of automated building construction system for high-rise office building. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, 2000. **Anais ...** Taipei, Taiwan: IAARC, 2000.

NAWAZ, S.; XU, X.; RODENAS-HERRÁIZ, D.; FIDLER, P.; SOGA, K.; MASCOLO, C. Monitoring a large construction site using wireless sensor networks. In: WORKSHOP IN REAL WORLD WIRELESS SENSOR NETWORKS, 2015. **Anais ...** p. 27-30, ACM: Nova Iorque, EUA, 2015.

STONE, W.; JUBERTS, M. Towards the ultimate construction site sensor. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, 2002. **Anais ...** IAARC: Washington, EUA, 2002.

YAMAZAKI Y., TABUCHI T., KATAOKA M., SHIMAKI D. 3D/BIM applications to large-scale complex building projects in Japan. **International Journal of High-Rise Buildings**, 3(4), p. 311-323, 2014.