

Márcio Minto Fabricio

i

INDUSTRIALIZAÇÃO DAS
CONSTRUÇÕES: REVISÃO e
ATUALIZAÇÃO DE CONCEITOS

228

pós-

RESUMO

O artigo discute a industrialização das construções a partir de um novo paradigma de produção, baseado na flexibilidade e na produção enxuta. A hipótese lançada é que a industrialização das construções, no contexto contemporâneo, ocorre a partir de novas práticas de gestão de projeto e produção e de inovações tecnológicas associadas à fabricação digital. O método de trabalho contempla revisão bibliográfica e evidências de campo, a partir de estudos exploratórios em empresas e canteiros de obras brasileiros. Como resultados, são apresentadas e analisadas várias inovações tecnológicas e gerenciais recentemente introduzidas na indústria de construção de edifícios brasileira, e se discute a evolução nos conceitos e práticas de industrialização das construções.

PALAVRAS-CHAVE

Industrialização das construções, construção enxuta, industrialização flexível, ambiente construído, gestão de projetos, Arquitetura moderna, Arquitetura contemporânea.

INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS
CONSTRUCCIONES: REVISIÓN Y
ACTUALIZACIÓN DE LOS
CONCEPTOS

RESUMEN

El presente artículo discute la industrialización de las construcciones a partir de un nuevo paradigma de producción, basado en la flexibilidad y la producción sin pérdidas. La hipótesis adoptada es que la industrialización de las construcciones, en el contexto contemporáneo, se da a partir de nuevas prácticas de gestión del proyecto y producción, y de innovaciones tecnológicas que están asociadas a la fabricación digital. El método de trabajo abarca la revisión bibliográfica y evidencias de campo, a partir de estudios exploratorios en empresas y obras de construcción brasileñas. Como resultados, se presentan y analizan varias innovaciones tecnológicas y de gerencia recién introducidas en la industria brasileña de la construcción de edificios, y se discute la evolución de los conceptos y prácticas de la industrialización de las construcciones.

PALABRAS CLAVE

Industrialización de las construcciones, construcción sin pérdidas, industrialización flexible, ambiente construido, gestión de proyectos, Arquitectura moderna, Arquitectura contemporánea.

INDUSTRIALIZATION OF
CONSTRUCTION: REVIEW AND
UPDATE OF CONCEPTS

230

pós-

ABSTRACT

The paper discusses the industrialization of constructions from a new paradigm of production based on flexibility and lean production. The hypothesis is that the industrialization of constructions in the contemporary context occurs based on new design and production management practices and technological innovations associated with digital fabrication. Methods include literature review and field evidence from exploratory studies in Brazilian's building companies and building sites. As results this work presents and analyzes various technological and managerial innovations recently introduced in the Brazilian construction industry and discusses the evolution in the concepts and practices of industrialization of construction.

KEY WORDS

Industrialization of construction, lean construction, processes management, project management.

I. INTRODUÇÃO

Durante o século 20, o movimento moderno de Arquitetura buscou uma formulação estética representativa da nova sociedade industrial, capaz de atender às necessidades espaciais e territoriais de uma sociedade marcada pela vida urbana e pela indústria (Curtis, 2008). Para alcançar a estética do “homem moderno”, a aposta dos principais teóricos da Arquitetura moderna, dos mestres da *Bauhaus* a *Le Corbusier*, foi que a força dessa Arquitetura adviria de uma *Arquitetura internacional* com projetos que atendessem a restrições de uma produção industrial, marcada pelo paradigma industrial vigente. Nesse contexto, a industrialização das construções pode ser considerada um dos pressupostos da Arquitetura moderna e, em nome dessa industrialização da produção do edifício, se justificaram diferentes opções estéticas e construtivas.

A estrutura independente, a fachada sem adornos, a predileção pela linha reta, o uso de novos materiais, como aço e concreto armado, representam não só uma estética da sociedade industrial, mas são tidos como base para a industrialização da própria produção da Arquitetura. Assim, a industrialização das construções é tanto um mote para opções projetuais, funcionais e estéticas, como um objetivo para produção da Arquitetura moderna.

Nesta linha, *Le Corbusier* desenvolve uma série de analogias entre a produção de edifícios e a indústria automobilística. Para o arquiteto e teórico franco-suíço, a industrialização é não só uma forma de produzir mais econômica e produtiva, mas fundamentalmente o caminho para encontrar a estética da Arquitetura moderna.

Se o problema da habitação do apartamento fosse estudado como um chassis, veríamos nossas casas se transformarem, melhorarem rapidamente. Se as casas fossem construídas industrialmente, em série, como os chassis, veríamos surgir rapidamente formas inesperadas, porém sadias, justificáveis e a estética se formularia com uma precisão surpreendente (LE CORBUSIER, 1973)

Em muitas obras modernas, soluções estéticas, e materiais industriais alinhados com o paradigma industrial da época conviveram com uma organização artesanal da produção, marcada pelo uso intensivo da mão de obra operária, pelas baixas mecanização e produtividade. Particularmente no caso brasileiro, destaca-se um processo de industrialização tardia, com a implantação significativa de uma indústria de materiais e componentes industrializados a partir da década de 1960, acompanhando a consolidação dos mecanismos de financiamento habitacional estatais em larga escala, a partir da criação do Sistema Financeiro da Habitação, na mesma década (FARAH, 1992; FABRICIO, 1996).

¹ A produção enxuta (*Lean Production*) (Walmack; Jones, 1992) surgiu no Japão no pós-II Guerra, principalmente na *Toyota Motor Company*, como alternativa à produção em massa, e congrega uma filosofia e técnicas de produção industrial que revolucionaram e influenciaram a indústria em todo o mundo, a partir dos anos 1990. A produção enxuta é, com algumas nuances, também chamada de Sistema Toyota de Produção, e mais recentemente de Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*). A partir do termo *Lean Production*, é derivado e adaptado para a construção o conceito de *Lean Construction* (construção enxuta) (Koskela, 1992).

² Projeto do Arquiteto Frank Gehry

³ Jacques Herzog e Pierre de Meuron, com participação do arquiteto chinês Ai Weiwei, da empresa britânica de consultoria Arup & Partners e do grupo chinês China Architecture Design & Research.

⁴ John Pauline - PTW Architects.

Com materiais crescentemente industrializados e com a ampliação da produção habitacional nas grandes cidades, a produção do edifício continua baseada em um processo de origem manufatureira, com uso limitado de pré-fabricação e de máquinas (FARAH, 1992). Analisando em retrospecto, uma série de particularidades, como renda da terra, aspiração social por diversidade no ambiente construído, complexidade técnica do produto e outras são apontadas como motivos que inviabilizaram a plena implementação da industrialização na produção das construções (FABRICIO, 1996).

A Arquitetura moderna no Brasil é composta de muitas obras de referência, em que a industrialização permaneceu inconclusa, uma intenção ou justificativa para opções estético-projetuais, enquanto os canteiros permaneceram manufaturas artesanais.

Hoje, a Arquitetura busca novos rumos, em uma pós-modernidade incerta e imprecisa. Ao mesmo tempo, a indústria taylorista-fordista, que serviu de base para as formulações produtivas da Arquitetura moderna, está suplantada por novas práticas industriais, ligadas à tecnologia da informação e à produção enxuta¹.

De fato, o próprio paradigma industrial contemporâneo não é tão hegemônico e coeso, como foi nos dois primeiros terços do século 20, em que prevaleceu o ideário de uma industrialização fordista. É possível identificar pelo menos duas abordagens, muitas vezes complementares, para o processo de produção industrial contemporânea: uma baseada na automação e no emprego de máquinas de controle numérico e robôs, e outra baseada em métodos e técnicas de novas formas de racionalização, baseadas na produção enxuta.

Discutir a eficiência industrial da produção arquitetônica nos dias atuais deve necessariamente considerar as capacidades e pressupostos dessa indústria contemporânea, que substitui a máquina pesada pela automação inteligente, o operário especializado e alienado por uma mão de obra flexível e polivalente, a produção em série padronizada, pela produção diferenciada.

Do museu Guggenheim em Bilbao², aos estádios dos Jogos Olímpicos de Pequim (Estádio Nacional de Pequim³ e Centro Aquático Nacional⁴), deparamo-nos com uma Arquitetura *high-tech*, com formas complexas e construção baseada em projetos auxiliados por *softwares* poderosos e na automação da produção de componentes, com o emprego de máquinas controladas por computador. Porém, dados seus altíssimos custos e suas próprias contradições, essa Arquitetura *high-tech* parece confinada às grandes obras públicas de exceção, e não uma alternativa para produção em escala.

De outro lado, uma série de práticas organizacionais de inspiração enxuta (*Lean Production*) vem sendo empregada na produção de edifícios, com resultados significativos em termos de produtividade e diminuição de perdas de materiais, mas essas técnicas vêm associadas, na maioria dos casos, a uma Arquitetura de mercado e pouco inspiradora.

O presente trabalho busca abordar a nova indústria e suas possíveis aplicações na produção do ambiente construído. Retoma a pesquisa da industrialização das construções e coloca essa questão à luz de um novo paradigma industrial de produção, baseado numa sociedade da informação, num contexto cultural de pós-modernidade e, principalmente, em novas práticas industriais, marcadas pela produção enxuta e pela automação.

2. CONTEXTO, OBJETIVOS E MÉTODOS

Este artigo é um resumo derivado do texto apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), para obtenção do título de livre-docente do autor, na área de Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia.

A pesquisa é baseada metodologicamente em revisão bibliográfica realizada na literatura nacional e internacional. O trabalho dialoga com as evidências coletadas durante o mestrado, doutorado e outros trabalhos e pesquisas desenvolvidos ao longo da carreira do autor. Alguns dados são retirados de artigos específicos publicados pelo autor em diferentes fóruns, todos devidamente citados ao longo do texto. Trata-se, portanto, de um trabalho de síntese e reflexão sobre a temática da industrialização das construções no contexto da produção arquitetônica contemporânea.

O objetivo do trabalho foi estudar e contextualizar a industrialização das construções à luz dos novos paradigmas de produção, baseados na flexibilidade industrial e em inovações gerenciais e organizacionais contemporâneas no setor de construção de edifícios. A hipótese de pesquisa foi considerar que o paradigma de produção industrial flexível, baseado em novos procedimentos de gestão de produção e novas tecnologias de automação, pode representar uma nova abordagem para industrialização das construções.

Como resultado, é proposta uma releitura do conceito de industrialização das construções baseado em premissas Tayloristas-Fordistas, e uma reflexão inovadora sobre a industrialização das construções, segundo um modelo produtivo que pode ser configurado como “industrialização flexível”.

3. INDUSTRIALIZAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

No início do século 20, com a Revolução Industrial difundida em parte da Europa e nos Estados Unidos, começam a surgir redefinições na organização do trabalho industrial, impulsionadas por novas máquinas, que levariam a enormes ganhos de produtividade.

O livro *Os Princípios da Administração Científica do Trabalho*, de Frederick W. Taylor, publicado em 1911 nos EUA, discute o parcelamento do trabalho, ligado ao estudo de tempos e movimentos como indutores da produtividade. A divisão do trabalho defendida por Taylor baseava-se no “*estudo científico do trabalho*”, por meio do qual a gerência analisaria os movimentos fundamentais, buscando a eliminação dos movimentos inúteis a determinada tarefa, e a intensificação do ritmo de trabalho.

Nesta vertente de eficiência e ampliação da produtividade no trabalho, o - *International Council for Research and Innovation in Building and Construction - CIB* (2010) define:

A industrialização na construção é uma racionalização dos processos de trabalho na indústria para atingir a eficiência de custos, maior produtividade e qualidade. CIB (2010 p. viii)

⁵ A ideia de esteira rolante de Ford é baseada, segundo Fleury; Vargas (1983), nos sistemas de carretilhas aéreas usadas para o esquartejamento e transporte de bois nos matadouros de Chicago.

⁶ SINGER (1996), com base em Marx, conceitua: **Mais-Valia Absoluta**, como o aumento do montante de trabalho humano (em tempo), sem um correspondente aumento do salário; **Mais-Valia Relativa**, como correspondendo a um aumento da produtividade (aparente), ou seja, a produção de uma mesma quantidade de produtos com menos horas de serviço, o que leva a um aumento da mais-valia, sem a necessidade de aumento do tempo trabalhado, fazendo que a porcentagem relativa aos salários (capital variável), no custo total da produção, diminua.

Além da busca da racionalização do trabalho em moldes tayloristas, o paradigma de produção de massa incorpora a máquina como elemento central à cadência da produção; ou seja, a máquina não só aumenta a capacidade de trabalho humano, como também passa a determinar seu ritmo (FLEURY; VARGAS, 1983).

Introduzida na *Ford Motor Company*, a linha de montagem reúne as ideias de parcelamento, simultaneidade e sincronia do trabalho. Na linha de montagem, cada operário realiza uma tarefa precisa e repetitiva (movimento padrão), sincronizado com os demais trabalhadores, num sistema em que a linha de produção dita o ritmo do trabalho. Assim, esta forma de organização da produção coloca a máquina como elemento central da produção - não tanto pela inovação tecnológica que representa⁵, mas por funcionar como um mecanismo capaz de intensificar e controlar a cadência do trabalho (LIPIETZ; LEBORGNE, 1988).

Do ponto de vista do capital, segundo uma análise marxista, essas mudanças no processo de trabalho intensificam a extração de mais-valia⁶ e permitem ampliar a rentabilidade do capital investido, por meio do aumento da produtividade no trabalho (FLEURY; VARGAS, 1983; SINGER, 1996).

Apesar das críticas ao trabalho industrial alienante, que rebaixa o operário a quase complemento da máquina, deve-se reconhecer que tal organização da produção propiciou elevados ganhos de produção (FLEURY; VARGAS, 1983).

Nessa linha, a industrialização das construções, de inspiração taylorista-fordista, propunha o aumento do domínio do capital sobre o processo construtivo, e o deslocamento de parte do trabalho do canteiro para o galpão da indústria, onde se poderiam empregar máquinas e métodos de organização e parcelamento do trabalho, de forma a permitir a produção em massa de edifícios (FABRICIO, 1996). Basicamente, a industrialização das construções buscava ampliar a produtividade do trabalho e reduzir desperdícios, de forma a transplantar a lógica da indústria seriada de massa para a construção de edifícios.

A industrialização das construções está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, os quais deverão ser entendidos, analisando de forma mais ampla as relações de produção envolvidas e a mecanização dos meios de produção. (BRUNA, 1976)

Para realizar essa operação, os pesquisadores do tema e seus defensores advogavam uma série de adaptações estéticas e funcionais nos edifícios, a fim de viabilizar a produção industrial do ambiente construído. Neste contexto, as discussões técnicas e as formulações tecnológicas se apoiam nas formulações estéticas e funcionais da Arquitetura moderna, que discutem as premissas para tornar a Arquitetura representativa da sociedade industrial dos países centrais.

Do ponto de vista técnico-produtivo, as adaptações necessárias para industrialização das construções, apontadas por autores como Rosso (1980), Bruna (1976), Serrano (1980), Martucci (1990), podem ser divididas em *estratégias tecnológicas* de produto e *estratégias organizacionais*.

As estratégias organizacionais tratam da racionalização do trabalho e ampliação da produção, pela aplicação dos ideários tayloristas de racionalização do trabalho e pelo emprego de máquinas e da linha de produção fordista, compreendendo:

- Divisão social do trabalho entre projetistas e gerentes (trabalho intelectual) e operários (trabalho braçal);
- Especialização do trabalho operário (desqualificação do trabalho);
- Racionalização dos métodos de trabalho;
- Emprego de máquinas e equipamentos especializados (ampliação da produtividade);
- Controle do ritmo de produção através dos tempos das máquinas e da linha de produção.

Para aplicar tais estratégias de produção, o produto edifício deveria ser adaptado, para viabilizar tecnologicamente a produção em massa, demandando:

- Pré-fabricação de componentes ou, preferencialmente, subsistemas e módulos de edifícios, de forma a permitir deslocar parte do trabalho do canteiro para plantas industriais, onde se poderia ter melhor controle das condições de produção;
- Projeto dos edifícios a partir de sistemas, subsistemas e componentes construtivos pré-estabelecidos, para permitir uma lógica de projeto de edifícios diferenciados, a partir de metaprojetos de sistemas construtivos padronizados;
- Padronização dos componentes e módulos, a fim de viabilizar a produção em escala;
- Coordenação modular entre os componentes, entre módulos e entre subsistemas construtivos (particularmente importante na industrialização de ciclo aberto, discutida a seguir).

Tais estratégias são análogas à lógica e à organização produtiva da indústria fordista de massa, com exceção da pré-fabricação de partes da obra, que surge como alternativa às limitações impostas por uma indústria itinerante, em que o produto é de grande monta e fica implantado em terreno determinado. A pré-fabricação pressupõe fabricação industrial de grandes peças e elementos construtivos, anteriormente à sua montagem definitiva (DEBS, 2000).

Além da retirada de parte do trabalho do canteiro de obra, a pré-fabricação sugere a produção industrial dos subsistemas construtivos e serve como estratégia para permitir a produção em série de partes da construção.

A estratégia de pré-fabricação implica no transporte das peças até a obra, o içamento e a montagem das peças em canteiro, implicando em um *design* dos elementos bastante detalhado, em relação às juntas e folgas na união das peças, e uma logística de transporte e montagem em obra igualmente planejada.

A questão do transporte é particularmente relevante na industrialização da construção, dado que os edifícios utilizam grande volume de materiais. Na indústria de massa, é importante que as fábricas tenham um grande raio de abrangência, para ampliar o mercado consumidor e permitir a produção em grande escala. Este raio de abrangência é determinado pelos custos de transporte (diretamente proporcionais a massa, volume e fragilidade do produto) *versus* o valor agregado do bem. Enquanto um produto leve, durável e de alto valor agregado pode ser transportado e comercializado a grandes distâncias da sua unidade produtora, produtos manufaturados pesados e de baixo valor têm o custo de transporte como um fator determinante para a descentralização geográfica da produção, já que o custo de transporte é muito mais relevante no segundo caso

(FABRICIO; MELHADO, 2002). Assim, enquanto um componente eletrônico de alto valor pode ser produzido aos milhões e comercializado globalmente, um elemento pré-fabricado de construção, pesado e de relativamente baixo valor agregado, representa um limitante importante ao raio econômico de atuação das empresas de pré-fabricação.

A formulação do conceito de industrialização das construções se complementa com a discussão sobre Industrialização de Ciclo Aberto ou, resumidamente, Industrialização Aberta *versus* Industrialização de Ciclo Fechado ou Industrialização Fechada, que são associadas às características dos sistemas construtivos, às regras de composição entre subsistemas e componentes e às características de produção desses sistemas.

Para Paulo de Camargo e Almeida (1971, p. 128), os sistemas podem ser divididos em Sistemas Fechados e Sistemas Abertos. No primeiro caso, temos como exemplo típico o automóvel, que constitui um sistema fechado, em que as partes e as peças seguem as especificações de uma única empresa (a montadora), e a substituição de uma peça exige a compra de outra com especificações técnicas análogas. Desta forma, o domínio tecnológico do produto é de propriedade da montadora, que pode terceirizar a produção de partes ou autopeças, mas permanece no papel de integradora do conjunto. No segundo caso, temos os computadores *desktops* baseados na “Arquitetura” IBM PC, que podem ser montados a partir de diferentes componentes (placa-mãe, placa de vídeo, memória de acesso rápido - RAM, disco rígido, monitor, periféricos etc.), de diversos fabricantes e relativamente intercambiáveis. Assim, no computador, partes podem ser substituídas e atualizadas com componentes do fabricante original ou de terceiros. Nesta configuração, a integração entre as partes pode ser exercida por diversos fabricantes ou montadores independentes, ou mesmo pelo próprio usuário.

Assim, enquanto, no primeiro modelo, temos uma empresa ou organização única, que é responsável pelas regras de compatibilidade entre os componentes e, conseqüentemente, domina a tecnologia do produto e seu processo de desenvolvimento, no segundo caso, temos regras normatizadas ou acordadas de compatibilidade entre as partes, e daí surgem múltiplas possibilidades de combinação e reformulação (Camargo, 1975; Bruna, 1976; Serrano, 1980).

A transposição dessa discussão para a construção de edifícios permite a caracterização de dois tipos de industrialização das construções:

- a Industrialização Fechada, em que o sistema construtivo é completamente produzido de forma industrializada por uma única empresa, ou sob responsabilidade e supervisão de uma empresa;
- Industrialização Aberta, que pressupõe a industrialização dos elementos ou subsistemas construtivos destinados ao mercado, que podem ser compostos de diferentes maneiras e por diferentes empresas, respeitando regras de compatibilidade pré-estabelecidas pela indústria.

No primeiro caso (industrialização fechada), o grande exemplo brasileiro contemporâneo são os hospitais da rede Sarah e seu sistema construtivo industrializado em argamassa armada e aço, cujos principais componentes são desenvolvidos e fabricados no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS), em Salvador, BA. O CTRS é uma instalação industrial com mais de 15 mil metros quadrados de área de oficinas de produção de metalurgia pesada (execução de

estrutura em chapas dobradas de aço), metalurgia leve (componentes metálicos para edificações e equipamentos hospitalares), marcenaria (componentes de construção, tais como portas e mobiliário hospitalar), central de produção de argamassa armada, dentre outras instalações (LUKIANCHUKI et al., 2011).

A grande vantagem dos sistemas fechados é permitir a produção em grande série, com uso de métodos industriais de massa, de modo a reduzir custos por unidade produzida e ampliar a qualidade e o conteúdo tecnológico do sistema construtivo, com garantia de perfeita conectividade e integração entre componentes construtivos. A lógica da indústria de massa permite também um maior investimento no projeto e detalhamento do sistema construtivo, uma vez que esses investimentos serão diluídos na série de produção.

A dificuldade dos sistemas fechados é a necessidade do elevado volume de produção (e, conseqüentemente, de demanda) de componentes construtivos relativamente padronizados, implicando em algum tipo de homogeneização da linguagem estética dos edifícios construídos a partir de um mesmo sistema construtivo. Porém, como demonstra a produção dos diversos hospitais da rede Sarah, isto não implica em uma Arquitetura padronizada, sem imaginação, ou de baixa qualidade. Outra dificuldade dos sistemas fechados é que o edifício apresenta elevado volume, e o valor agregado em relação à massa do produto é baixo, o que torna o custo de transporte bastante significativo para o setor, limitando o raio de abrangência econômico das empresas de pré-fabricados.

O conceito de industrialização aberta, também chamada por Paulo Bruna (1976) de industrialização de catálogo, apregoa a necessidade de regras de compatibilidade entre partes, componentes e subsistemas do edifício, que podem ser produzidos por diferentes fabricantes, de forma a propiciar múltiplas possibilidades de composição entre as peças ou módulos (conceito de intercambiabilidade). A industrialização aberta propõe, assim, a produção industrializada de diferentes componentes, por um mesmo ou por diferentes fabricantes, com lógicas de montagem e interconexão padronizadas e compatíveis (MARTUCCI, 1990).

Nesse sentido, ganha importância a discussão da coordenação modular, que, para ser plenamente exitosa, passa por acordo setorial ou pela intervenção estatal, de forma a normalizar os materiais e os componentes.

Segundo Greven, Baldauf (2007), as primeiras normas de coordenação modular datam do final da primeira metade do século 20. Em 1938, a American Standard Association (ASA) iniciou um estudo para coordenar o dimensionamento dos componentes, com a publicação da primeira norma norte-americana, em 1945. Em 1942, a Associação Francesa para a Normalização (AFNOR) desenvolve um projeto de norma para coordenação modular, que é seguida pelas normas sueca de 1946 e belga de 1948 (GREVEN, BALDAUF, 2007).

Le Corbusier publica, em 1948, o estudo *Le Modulor*, seguido do *Le Modulor II*, de 1954, utilizando as dimensões da seção áurea e da série de Fibonacci e adaptando as dimensões funcionais dos edifícios às proporções do corpo humano (Ching, 1998 apud GREVEN, BALDAUF, 2007).

Para Lucini (2001), a coordenação modular pode ser definida como:

o sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base em um módulo predeterminado [...], compatibiliza e organiza tanto a aplicação

racional de técnicas construtivas como o uso de componentes em projeto e obra, sem sofrer modificações.

A coordenação modular no contexto da industrialização aberta das construções deve ser vista como uma técnica de projeto voltada para a redução de desperdícios e racionalização da produção, mas principalmente como um *metaprojeto* para a indústria de fornecedores de materiais e componentes, no *design* e fabricação dos insumos da construção. De fato, coordenar as dimensões de componentes é o primeiro esforço para tornar compatíveis e intercambiáveis os elementos pré-fabricados da construção.

A coordenação modular, bem como a normalização dos insumos da construção são fundamentais para que, a partir de componentes de construção industrializados, a produção do edifício possa ocorrer verdadeiramente como pré-fabricação aberta. Sem regras e procedimentos compatíveis entre diversos componentes e diferentes fabricantes, a eficiência da “montagem” da obra fica comprometida pela necessidade de ajustes nos materiais e componentes.

Assim, pode-se constatar que a industrialização aberta é aplicada de forma parcial e precária à construção brasileira, com materiais e componentes de construção que apresentam, em diversos ramos, uma elevada agregação de tecnologia e alto grau de industrialização na sua produção, convivendo com a ausência ou precariedade das regras combinatórias entre os diversos componentes, e imprecisões quanto aos sistemas de ligação entre os diferentes componentes, gerando enormes desperdícios, advindos da necessidade de adaptações, para permitir o acoplamento entre elementos distintos.

No estágio atual, essa industrialização raramente ultrapassa o material de construção (vidro, aço, pintura e impermeabilização etc.), ou componente individual (elemento de vedação, esquadria etc.), chegando, em alguns casos, aos componentes primariamente agregados, cujos exemplos típicos são os painéis de fachada pré-fabricados, com revestimento e acabamentos, e o sistema de portas e janelas prontas (com vidro, fechadura etc.), ambos acoplados ao edifício já definitivamente terminados e operacionais.

No País, talvez o exemplo mais complexo de industrialização aberta seja a produção de banheiros prontos, nos quais diversos subsistemas são integrados em uma fábrica, e o módulo de banheiro é transportado e içado na obra, onde é posicionado e conectado às redes elétrica, hidráulica e sanitária do edifício.

De fato, diante das peculiaridades da produção de edifícios e da dinâmica do setor de construção civil, a industrialização em massa das construções só foi viabilizada plenamente em contextos históricos específicos, nos quais se conciliavam grandes demandas e a presença do Estado, como empreendedor e agente financeiro, capaz de estabelecer redes dispersas de fábricas e amenizar, ou ao menos minimizar, a importância do especulador e do empreendedor imobiliário no processo produtivo (FABRICIO, 1996).

Porém, se até a década de 1970 era pertinente discutir uma industrialização de inspiração estética modernista e de produção em massa, mudanças recentes no paradigma industrial fazem da industrialização das construções, nos moldes fordistas, uma alternativa anacrônica, frente às organizações e tecnologias contemporâneas.

Com o esgotamento do modelo taylorista-fordista de produção industrial, e com as dificuldades de implantar uma industrialização de massa na construção de edifícios, é necessário rever o conceito e os pressupostos para industrialização das construções, sobre bases mais contemporâneas, alinhadas aos novos paradigmas industriais e às características da indústria de construção do século 21.

No passado quando se falava da industrialização, se pensava na industrialização dos grandes investimentos, dos grandes capitais, da grande produção. Mas aquela indústria hoje está em crise em todo o mundo e de alguns anos para cá se viu que a indústria mais sólida é aquela que consegue conter investimentos e manter sua estrutura flexível, assim chamada de 'industrialização enxuta (lean)': Mais um modo de pensar que uma estrutura produtiva no senso tradicional. (CERAGIOLI; CAVAGLIA, 1993:24)⁷

Em vez de propugnar por uma transformação radical da base técnica e pelo emprego intensivo de máquinas, busca-se argumentar em prol de uma industrialização de caráter mais processual e baseada na incorporação de “inteligência” no processo de projeto e de produção de edifícios.

Nesse contexto, ganha importância, na organização e na tecnologia de produção, a discussão do que vem sendo denominada “produção enxuta” (ver Womack et. al. 1990), ou “Sistema Toyota de Produção” (ver Ohno, 1997). Entretanto esses aportes são tratados como referências teóricas que auxiliam a compreensão e a análise de práticas modernizantes em curso no setor, enquanto a ênfase é posta na busca de soluções e procedimentos práticos que efetivamente melhorem o desempenho da construção, e não estritamente na aderência dos processos construtivos aos paradigmas industriais.

Em uma visão mais flexível sobre **industrializar a construção, mais voltada à gestão e integração dos processos** do que à reconfiguração tecnológica do produto e do sistema construtivo, Sabbatini (1989) define industrialização como:

Industrialização das construções é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e de implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva (SABBATINI, 1989).

Na mesma linha de flexibilizar a definição de industrialização, dando mais ênfase aos resultados que ao seguimento de um entendimento padrão do conceito de industrialização, o CIB (2010), através do TG 57 (*Tansk Group 57*), assume a definição de Alistair Gibb apud CIB (2010, p. viii):

A industrialização na construção civil é uma mudança de pensamento e prática para melhorar a produção de construção para produzir uma alta qualidade, personalizar o ambiente construído, através de um processo integrado, otimizando a padronização, organização, custo e valor, a mecanização e automação.

Sabbatini e Barros (2008) esclarecem que industrialização não deve ser confundida com sistema construtivo industrializado, no sentido de fabricado

⁷ Tradução livre do italiano pelo autor.

integralmente em fábrica, mas percebida como processo voltado para ampliar a produtividade e a eficiência no uso de materiais na atividade de construção.

Os autores citados anteriormente destacam assim que, fundamental para industrialização das construções no Brasil dos tempos atuais é desenvolver um processo de aperfeiçoamento da atividade da indústria, focado no aprimoramento contínuo da organização da atividade produtiva, aliado a novas formas de racionalização gerencial da produção, conforme analisa Cardoso (1996).

As definições anteriores dão ênfase à eficiência do processo e, apesar de serem vagas em relação à caracterização do sistema construtivo, se mantêm flexíveis por focar nos objetivos da industrialização, sem determinar meios específicos e pré-determinados para alcançá-los.

Além disso, no contexto atual do setor de construção civil mundial, ganham relevância as questões relacionadas à sustentabilidade das obras e dos edifícios. Tal qual a industrialização das construções, a sustentabilidade se traduz em alterações sistêmicas em todo o processo de projeto e produção do ambiente construído. A sustentabilidade envolve desde a origem, as características e as quantidades de materiais, a eficiência energética das edificações (durante a construção e uso), o uso de recursos naturais (durante a construção e uso), indo até as opções de desmonte e as consequências do descarte dos materiais construtivos, após o final de sua vida útil.

Tanto a industrialização como a sustentabilidade buscam otimizar o uso de recursos; entretanto os valores que norteiam a avaliação dessa eficiência podem ser bastante distintos entre as abordagens. Assim, por exemplo, enquanto os princípios de sustentabilidade valorizam o emprego de materiais locais e a redução das distâncias de transporte dos componentes, a lógica da industrialização de massa valoriza a produção em grandes séries e o atendimento de um amplo mercado consumidor, implicando em um grande raio de ação das fábricas. De fato, a indústria fordista é alicerçada em princípios de concentração e centralização, enquanto a sustentabilidade é baseada na redução e em arranjos produtivos e uso de materiais locais. Portanto a industrialização das construções, num contexto contemporâneo, deve ser flexível, não só para tirar proveito das novas tecnologias de produção digital, mas para se adaptar aos contextos produtivos locais e às novas demandas de desempenho ecológico para o ambiente construído.

Com o espírito de manter flexível o conceito de industrialização das construções e, ao mesmo tempo, situá-lo junto ao novo paradigma de produção industrial contemporâneo, além de integrar na definição o enfoque de ciclo de vida do empreendimento, é proposta a seguinte definição do conceito: **Industrialização flexível das construções** consiste no emprego integrado de técnicas gerenciais e tecnologias digitais de projeto e de produção, de forma a ampliar a produtividade, a qualidade e a sustentabilidade dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida (projeto, construção, uso, manutenção e desmonte).

Similarmente à interpretação da industrialização tradicional, podemos compreender a industrialização flexível por suas estratégias tecnológicas e organizacionais.

Assim, podemos abordar a **industrialização flexível** na construção segundo duas estratégias, que podem ser complementares: a primeira ligada à automação flexível (*estratégia tecnológica*), e a segunda baseada em métodos de gestão de projeto e produção enxuta (*estratégia organizacional*).

Estratégia Tecnológica:

A **industrialização via automação flexível** significa a automação da produção a partir do uso de máquinas de controle numérico (CNC - *Computer Numeric Control*), associadas a projetos digitais em CAD (*Computer-Aided Design*), e paramétricos em software BIM (*Building Information Modeling*) dos objetos. Esses equipamentos permitem a produção de peças complexas, a partir da modelagem tridimensional e sua posterior usinagem por uma máquina controlada por computador *Computer Aided Manufacturing* (CAM)⁸. A vantagem dessas máquinas é que elas apresentam grande precisão e flexibilidade: uma mesma máquina pode usinar diferentes peças, com diferentes materiais.

Essa abordagem pode ser ilustrada pelo projeto de Frank Gehry para o museu Guggenheim, de Bilbao, na Espanha, que exigiu a utilização de máquinas CNC, para o corte preciso das placas em titânio utilizadas no revestimento das superfícies externas no edifício (SHELDEN, 2002).

Esse tipo de automação apresenta maior flexibilidade do que as máquinas industriais de massa, na medida em que permite ajustes e reconfigurações por meio dos controles numéricos e dos softwares associados. Entretanto são equipamentos ainda mais caros que as máquinas da indústria de massa e exigem um volume de produção, mesmo que de produtos diferenciados, ainda maiores, para amortizar os investimentos em equipamentos.

A automação flexível demanda também significativa transformação da base técnica de produção do setor de edificação, exigindo a pré-fabricação de componentes desenhados e produzidos a partir de uma abordagem CAD/CAM e posterior montagem em obra, envolvendo grande aporte de capital e emprego de tecnologia da informação e de automação avançada.

Devido às características de sofisticação e altíssimos custos de produção, é provável que a automação flexível tenha um papel complementar à indústria da construção, e, por essa razão, a abordagem privilegiada neste trabalho é a da industrialização baseada em métodos.

Estratégia Organizacional:

O paradigma de produção industrial contemporâneo, que diversos autores denominam como **Produção Enxuta** (*Lean Production*), ou **Industrialização Flexível**, está alicerçado na flexibilidade dos processos produtivos, de forma a atender uma demanda mais exigente, diversificada e instável (HARVEY, 1989).

Koskela (1992) destaca que um processo de produção pode ser visto através de atividades de **conversão** - responsáveis pela manipulação ou transformação de um insumo (execução de um trabalho) -, através da perspectiva de **fluxo** de produção - em que são encadeadas diversas atividades de conversão, executadas por trabalhadores e máquinas, para configurar o processo de produção - e sob a ótica de **agregação de valor** - em que o processo produtivo (projeto e produção) deve agregar valor para os clientes e usuários.

Sob essa perspectiva, a indústria taylorista-fordista centra suas atenções principalmente nas atividades de conversão, ou seja, em como realizar um trabalho ou tarefa de forma mais rápida e eficiente, mas não considera adequadamente os fluxos de produção, desconsiderando que a eficiência

⁸ No Brasil, estudos avançados da utilização da prototipagem rápida como ferramenta de projeto de arquitetura e, mais recentemente, da prototipagem em escala real de componentes de construção estão sendo conduzidos no LAPAC-UNICAMP (Laboratório de Prototipagem para Arquitetura e Construção).

produtiva depende não só do resultado dos trabalhos isolados, mas de como são concatenados e articulados os diversos estágios de conversão de um produto, ao longo das cadeias produtivas, de forma a eliminar estoques, aprimorar o planejamento e controle do processo e defeitos nos produtos gerados.

Já a ideia de agregar valor traz dois vieses. O primeiro, relacionado à produção, busca otimizar os processos, a fim de eliminar atividades que não trazem melhorias para o produto, como estoque, transportes desnecessários e desperdícios. O segundo viés está associado ao projeto e à busca de atributos que garantam o atendimento das necessidades dos clientes e usuários e maior desempenho do produto.

Do ponto de vista organizacional, sai de cena a ênfase quase exclusiva na racionalização e aumento da produtividade no trabalho, e ganha relevância uma percepção de eficiência junto a toda a cadeia de produção e “consumo” (FORMOSO, 2002). O foco organizacional não é mais a produtividade no trabalho, mas sistemas de gestão integrada do projeto, produção e consumo. Com isso, proliferam nas organizações e nas construtoras e empresas de projeto os sistemas de gestão: Gestão da Qualidade; Gestão da Produtividade e do Trabalho (inclusive aspectos de segurança); Gestão Ambiental; Gestão da Informação; Gestão da Inovação; Gestão de Negócios etc.

A industrialização por projeto

Numa nova abordagem de industrialização flexível das construções (em que os meios de produção são organizados de forma particular, mas eficiente, a cada empreendimento), a capacidade de planejamento e projeto é fundamental. Enquanto a industrialização de massa busca metaprojetos detalhados dos sistemas construtivos, para posterior combinação e montagem em empreendimentos discretos, o desafio para uma industrialização flexível é a capacidade de realizar projetos rigorosos e detalhados para cada empreendimento único.

Na indústria de massa, o pressuposto é que o projeto do sistema construtivo deve ser extremamente detalhado e preciso, com os custos de projeto viabilizados pela produção em série. Na industrialização flexível, esse grau de integração e detalhamento deve ser buscado em menor escala (às vezes, para cada empreendimento individual). De qualquer forma, o projeto do edifício industrializado não é mais só o projeto de Arquitetura e especialidades de engenharia (chamados de projeto do produto), mas são também os projetos para produção, enquanto soluções de projeto que buscam orientar e otimizar a construtibilidade das obras.

Na indústria contemporânea, o projeto ou, de forma mais ampla, o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) deve especificar e simular o desempenho do produto ao longo de todo seu ciclo de vida (ROZENFELD et. al. 2006). Nesse contexto, o projeto abrange não só a concepção formal e especificações técnicas do produto, mas contempla a relação do produto com a estratégia de negócio e de marketing da empresa promotora, com a produção do produto da construtora e subempreiteiros, e deve considerar a gestão do uso e a manutenção do produto (JOUINI; MILDLER, 1996; TERTRE, C.; LE BAS, 1997).

Com esse propósito, a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) busca desenvolver softwares de auxílio ao projeto, que, além de permitirem a construção

de modelos paramétricos dos edifícios, permitam o gerenciamento do ciclo de vida do empreendimento, contemplando as informações técnicas de projeto, as especificações de materiais, componentes e técnicas de construção e, mais tarde, o gerenciamento do processo de uso e manutenção do edifício.

A essência do BIM, segundo Santos (2007), é: a modelagem paramétrica variacional do edifício; o modelo único; a interoperabilidade; e o foco no ciclo de vida da edificação.

A **modelagem paramétrica** significa que o modelo deve trazer consigo um banco de dados com atributos e especificações do produto, e não apenas um desenho de representação.

A criação de um **modelo digital integrado** deve propiciar a todas as especialidades de projeto e aos construtores e gestores um único banco de dados, que possa ser manipulado por todos esses agentes. A interoperabilidade é uma característica técnica do software, que garante a compatibilidade do modelo com vários softwares destinados a distintas finalidades, de forma que os vários agentes da cadeia de suprimentos possam interagir com o modelo único. Para tanto, demanda um grande esforço para desenvolver os padrões de arquivos da indústria (IFCs – KIVINIEMI et. al. 2008), e não os padrões proprietários dos fabricantes de softwares. Por fim, o objetivo principal do BIM é reunir, em um único banco de dados ou em bancos de dados compatíveis e integrados, todas as informações de projeto, produção e uso do empreendimento, de forma a permitir o desenvolvimento de produto focado na gestão de **todo o ciclo de vida da edificação**.

Para que seja operacionalizada com sucesso, a tecnologia BIM deve estar apoiada em práticas de gestão condizentes com a filosofia de desenvolvimento integrado do ciclo de vida do produto.

O PDP compreende um conjunto de teorias e abordagens de gestão para o processo de concepção e desenvolvimento de novos produtos, cuja filosofia principal é a integração entre áreas funcionais, entre especialidades envolvidas no projeto, e integração entre projeto do produto e projeto da produção, com uma visão focada no ciclo de vida (ROZENFELD et. al., 2006).

Com a disseminação do paradigma de produção flexível ou de produção enxuta, as atividades de fluxo (interação entre funções) e o conceito de valor agregado ganham destaque nas estratégias de produção, e o projeto é cada vez mais observado como etapa prioritária na agregação de valor aos produtos (KOSKELA, 1992; KOSKELA et. al. 1997). Derivado da abordagem de atividades de fluxo e de conversão definidas por Koskela, Jacques (2000) caracteriza o processo de projeto como fluxo de informação, no qual estão presentes quatro tipos de atividade: conversão, espera de informações, passagem de informações (movimento) e inspeção.

Esta visão de fluxo de informações auxilia na compreensão do desenvolvimento de produto, enquanto trabalho compartilhado entre vários profissionais. A espera, movimentação e inspeção ocorrem quando há interdependência de tarefas executadas por diferentes profissionais, ou quando há diferentes intervenientes influenciando as soluções projetuais (JACQUES, 2000).

Dessa forma, o desenvolvimento de novos produtos passa a ser compreendido como uma atividade cuja interatividade é fundamental para a qualidade do produto e para a eficiência do processo produtivo (KOSKELA; BALLARD; TANHUNPÄÄ, 1997).

Assim, o processo de desenvolvimento de edifícios deve integrar as fases e especialidades de projeto e orientar o processo a uma abordagem ampla do problema, de forma que as soluções adotadas considerem diferentes etapas do ciclo de vida do empreendimento (projeto, construção, uso e manutenção, sem falar no descarte/demolição do produto).

Particularmente importante, segundo a literatura, é a integração do PDP com as estratégias e capacidades produtivas das empresas e seu posicionamento no mercado. Adaptando o conceito para construção de edifícios, Fabricio (2002) propõe o conceito derivado de Projeto Simultâneo, definido como:

[...] o desenvolvimento integrado das diferentes dimensões do empreendimento, envolvendo a formulação conjunta da operação imobiliária, do programa de necessidades, da concepção arquitetônica e tecnológica do edifício e do projeto para produção, realizado por meio da colaboração entre o agente promotor, a construtora e os projetistas, considerando as funções subempreiteiros e fornecedores de materiais, de forma a orientar o projeto à qualidade ao longo do ciclo de produção e uso do empreendimento (FABRICIO, 2002).

4. CONCLUSÕES

Este artigo desenvolveu, de forma exploratória, uma conexão entre os novos paradigmas de produção industrial e seus rebatimentos em termos de modernização e inovação na atividade de construção de edifícios e projeto de Arquitetura.

O paradigma industrial taylorista-fordista prescrevia, de forma dogmática e precisa, as características do produto e sua produção, determinando a padronização dos produtos e a produção em massa, com emprego de operários especializados e desqualificados, uso intensivo de máquinas e controle do fluxo através de linha automatizada de produção. Na construção, esse paradigma implicava em complexas alterações no produto edifício e na base técnica produtiva do setor.

De fato, a industrialização de massa teve muitas dificuldades para se implantar e para se firmar como alternativa à produção de edifícios, sendo viabilizada apenas em momentos históricos propícios (principalmente na reconstrução do pós-guerra), em países europeus desenvolvidos e com forte intervenção estatal como agente regulador do mercado de edifícios. Isto se deveu a uma série de incompatibilidades entre modelo industrial de massa e as características próprias dos empreendimentos de construção e do setor. Particularidades como dependência fundiária, representatividade cultural e histórica, e complexidade técnica (atrelada às questões climáticas, geológicas e do porte dos edifícios) limitaram a produção em série de edificações e inviabilizaram a plena industrialização de massa das construções.

No Brasil, a indústria da construção se firmou na segunda metade do século 20, como uma indústria manufatureira com algumas particularidades e emprego intensivo de mão de obra. Apesar de alguns esforços para racionalizar e industrializar as obras, a maior parte da produção de edifícios permaneceu marcada pela baixa produtividade e elevado desperdício de materiais.

Por outro lado, se a atividade final de construção (produção do edifício) não se industrializou, os fabricantes de vários materiais de construção passaram por um intenso processo de industrialização, modernização e inovação, ao longo da segunda metade do século 20 e início do século 21.

No final dos anos 1990 e principalmente nos anos 2000, algumas construtoras líderes no mercado passaram a adotar novas técnicas gerenciais, atreladas, inicialmente, à gestão da qualidade (Picchi, 1993) e, em seguida, ao planejamento do fluxo de materiais e da obra (Formoso, 2002) e à gestão do desenvolvimento de seus produtos.

Essas modernizações, mesmo que ocorrendo, na maioria dos casos, de forma empírica e desarticulada (sem coerência entre as várias técnicas e com a filosofia de produção enxuta), apontam para um processo de industrialização de base flexível, com emprego de novos métodos gerenciais (Gestão da Qualidade, JIT, Kanban, Gestão de Projetos etc.).

É possível verificar, na indústria de construção brasileira contemporânea, uma série de inovações tecnológicas focadas em materiais e componentes de construção, somadas a novas práticas de gestão de caráter sistêmico, envolvendo o planejamento do empreendimento e a gestão de materiais em obras (fluxo), a melhoria da qualidade de serviços e processos (gestão da qualidade) e a sustentabilidade das obras (gestão ambiental).

Essa conjunção entre inovação tecnológica e gerencial configura um novo aporte, para aprimorar a eficiência da produção de edifícios e, nesse sentido, pode ser caracterizada como uma nova abordagem para a industrialização das construções.

Trata-se, portanto, não mais de uma industrialização pesada, baseada na estandardização do ambiente construído e na produção em série por máquinas, mas de uma industrialização apoiada em materiais e componentes de construção com tecnologia agregada, e no emprego de técnicas gerenciais modernas, como meio para ampliar a produtividade e melhorar a qualidade (enquanto conformidade e atendimento ao usuário) do edifício.

Uma característica dessa nova forma de industrialização é que ela é menos dogmática e voltada mais aos resultados do que a modelos teóricos, podendo se enquadrar como uma racionalização ampliada e integrada (várias etapas do empreendimento e diversos agentes) da produção do edifício.

Outra questão importante é que essa industrialização, baseada em métodos e inovações tecnológicas incrementais, para alcançar ganhos de produtividade e qualidade, não demanda transformações radicais da base técnica instalada no setor e, portanto, é muito mais factível de ser implementada.

Entretanto as mudanças em curso são ainda parciais e circunscritas a um número restrito de empresas, não configurando uma transformação plena do setor de construção.

Na indústria de construção, ainda se demandam esforços de articulação das várias técnicas que sustentam a produção enxuta em outros setores e, principalmente, é necessária uma maior integração, entre as etapas (formulação do empreendimento, projetos, obra e pós-ocupação) e entre os próprios agentes envolvidos nos empreendimentos.

Essa nova indústria é particularmente dependente de uma capacidade de desenvolver novos projetos com agilidade e economia, de forma robusta e

bastante detalhada, para subsidiar todo o processo de planejamento e gestão de obra.

Dentro desse propósito, são importantes tanto modelos gerenciais mais evoluídos para articular os projetos (a cargo de empresas especializadas e terceirizadas de projeto), como o emprego das tecnologias de informação e comunicação, que ampliam a produtividade e precisão dos projetos e potencializam a comunicação virtual entre os agentes.

Particularmente importante é o surgimento da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), que possibilita a gestão do ciclo de vida dos edifícios a partir do projeto, e de forma integrada em bancos de dados informatizados. Essa tecnologia, em estágio inicial, abrirá novas formas de gerenciar a informação no setor e impactará as várias etapas do empreendimento, englobando do projeto à obra, da aquisição de materiais à manutenção do edifício.

Com relação à tecnologia da informação e automação, surgem as técnicas de prototipagem e as máquinas de controle numérico, como uma promessa de automação da produção de partes da construção.

Embora se possa verificar certo fascínio da produção de alguns arquitetos pelos meios de produção automatizados, como o CAD/CAM, e certo esforço em justificar uma arquitetura altamente tecnológica e complexa, como a do museu de Bilbao, esse tipo de abordagem não é consensual e ainda necessita de embasamentos teóricos mais amplos. Além disso, representa uma das abordagens contemporâneas da indústria, aquela baseada na automação e robotização da produção, mas justamente aquela abordagem de custos mais elevados, o que dificulta sua disseminação, em curto e médio prazo, na indústria de construção como um todo. O que se verifica, na atualidade, é que tais tecnologias são restritas a obras de grande impacto e sem restrições de custos, não sendo ainda viáveis enquanto alternativa para produção em escala, que o mercado de construção demanda. De fato, como em outras indústrias mais intensivas em capital, é provável que também na construção a flexibilidade por meio da automação flexível seja complementar à produção enxuta, e não uma estratégia econômica em larga escala.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. C. **Industrialização da construção**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Arquitetura e Planejamento, 1971. 432 p. (Relatório FAPESP).
- BRUNA, Paulo. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. São Paulo: Perspectiva/EDUSP, 1976. 308 p.
- CAMARGO, A. R. **Industrialização da construção no Brasil**. 1975. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CARDOSO, F. F. **Stratégies d'entreprises et nouvelles formes de rationalisation de la production dans le bâtiment au Brésil et en France**. Paris, 1996. Tese (Doutorado em Économie et Sciences Sociales) - École National de Ponts e Chaussées, 1996.
- CERAGIOLI, G.; CAVAGLIÁ, G. 'Sviluppo nella tecnologia dei processi costruttivi in Italia.' In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações, 1, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP/ANTAC, 1993. v. 1, p. 19-26.

- CIB (COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION). **New Perspective in Industrialisation in Construction** - A State-of-the-Art Report. Girmscheid, G., Scheublin, F. (Eds.). IBB – Institut für Bauplanung und Baubetrieb. Zurich: Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2010. ISBN 978-3-906800-17-2. 429 p.
- CTRS – CENTRO DE TECNOLOGIA DA REDE SARAH. Arquiteto João Figueiras Lima (Lelé). Livreto, s.d.
- CURTIS, W. J. R. **Arquitetura moderna desde 1900**. Tradução Alexandre Salvaterra. 3ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 736 p.
- DEBS, M. K. El. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000. v. 1. 456 p.
- FABRICIO, M. M. **Processos construtivos flexíveis: projeto da produção**. 1996. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- FABRICIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 308p.
- FABRICIO, M. M.; MELHADO, S.B. Globalização e a modernização industrial na construção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: cooperação & responsabilidade social, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002. CD-ROM.
- FARAH, M. F. S. **Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional**. São Paulo, 1992. Tese (Doutorado em Sociologia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1992.
- FLEURY, A. C. C.; VARGAS, N. **Organização do trabalho: uma abordagem interdisciplinar: sete casos brasileiros para estudo**. São Paulo: Atlas, 1983. 232 p.
- FORMOSO, C. T. Lean Construction: princípios básicos e exemplos. **Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obra**, São Paulo, v. 15, p. 50 - 58, 15 out., 2002.
- GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à Coordenação modular na construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Porto Alegre: Coleção Habitare/FINEP, 2007. 72 p.
- HARVEY, D. **Condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. Tradução de: A. U. Sobral e M. S. G. São Paulo: Loyola, 1989. 349 p.
- JACQUES, J. J. **Contribuições para a gestão da definição e transmissão de informações técnicas no processo de projeto**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- JOUINI, S.B.M.; MILDLER C. **L'ingénierie concourante dans le bâtiment**. Paris: Plan Construction et Architecture / GREMAP, 1996. 230 p.
- KIVINIEMI, A.; TARANDI, V.; KARLSHØJ, J.; BELL, H.; KARUD, O. J. **Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM**. Erabuild, 2008.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Stanford University/CIFE, 1992. 75 p. (Technical Report, n.72)
- KOSKELA, L.; BALLARD, G.; TANHUNPÄÄ, V. Towards lean design management. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 5, 1997, Gold Coast. **Proceedings...** Gold Coast: IGLC, 1997. p. 1-12.
- Le CORBUSIER. **Por uma Arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 1973. 240 p.
- LIPIETZ, A.; LEBORGNE, D. O Pós - Fordismo e seu Espaço. In: **Espaço e Debates**. Tradução: Regina Silva Pacheco. São Paulo: Annablume Editora, 1988. n. 25, p. 12 -29.
- LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias**. São Paulo: Pini, 2001. 101 p.
- LUKIANCHUKI, M. A. ; CAIXETA, M. C. B. F. ; FABRICIO, M. M. ; CARAM, R. M. Industrialização da construção no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS). A construção dos hospitais da Rede Sarah: uma tecnologia diferenciada através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah CTRS. **Arquitextos**, São Paulo, v. 12.134, p. 134.04, ano 12, jul. 2011.
- MARTUCCI, R.. **Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?** 1990. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Tradução: Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997. 152 p.
- PICCHI, F. A. **Sistema de qualidade**: uso em empresas de construção. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROSSO, T. **Racionalização da Construção**. São Paulo: FAUUSP, 1980. 300 p.
- ROZENFELD, H. et. al. **Gestão do desenvolvimento de produtos**: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.
- SABBATINI, F. H. BARROS, M. S. B. Conceitos Básicos. Transparências da disciplina. **PCC5304 Inovação Tecnológica nos Métodos Construtivos de Edifício**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 23 de junho 2008.
- SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- SANTOS, E. T. Building Information Modeling. In WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, ISSN: 1982-7296, link: < <http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/>>
- SERRANO, J. S. **Alojamiento y tecnologia: industrialización abierta?** Madrid: Instituto Eduardo Torroja de La Construction y Del Cemento, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1980. 160 p.
- SHELDEN, D. R. **Digital surface representation and the constructibility of Gehry's architecture**. 2002. (PhD Thesis in Architecture) - Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA. 340 f.
- SINGER, P. Perspectivas de desenvolvimento da América Latina. In: **Novos Estudos**, São Paulo, n. 44, p. 133-164 CEBRAP, mar. 1996.
- TERTRE, C.; LE BAS, C. **L'innovation et les entreprises à ingénierie intégrée dans le Bâtiment**. Paris: Collection Recherche, 1997. 190 p.
- WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **The machine that changed the world**. New York: Rawson Associates, 1990. 323 p.

Nota do Editor

Data de submissão: Julho 2012

Aprovação: Outubro 2012

Márcio Minto Fabricio

Professor do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP). Livre-docente em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia pela EESC-USP, doutor em engenharia pela Escola Politécnica da USP e mestre em Arquitetura e Urbanismo pela EESC-USP, engenheiro civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

IAU-USP

Av. Trabalhador Sao-Carlense, 400
13566-590 - São Carlos, SP, Brasil
(16) 3373-9312
marcio@sc.usp.br