

CONCRETO

& Construções

INFORMÁTICA APLICADA A PROCESSOS NA CONSTRUÇÃO

BIM, FABRICAÇÃO DIGITAL E OUTRAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO



Ano XLIV
85

JAN-MAR
2017

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

ANTONIO PEDREIRA DE FREITAS:
PAIXÃO PELA CONSTRUÇÃO
RACIONALIZADA

ENTIDADES DA CADEIA

RACIONALIZAÇÃO
DA CONSTRUÇÃO DAS
ESCOLAS PAULISTAS

ENSINO E APRENDIZADO NA ENGENHARIA

NOVA ESTRUTURA CURRICULAR
DE ENSINO DA POLI-USP

A fabricação digital aplicada à construção industrializada: estado da arte e perspectivas de desenvolvimento

PAULO EDUARDO FONSECA DE CAMPOS – PROFESSOR ASSOCIADO • EDUARDO IGNACIO LOPES – DOUTORANDO

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (FAUUSP)

I. INTRODUÇÃO

A história da construção industrializada, especialmente no campo da pré-fabricação, sempre lidou com questões relacionadas à padronização e à produção seriada, particularmente em programas de larga escala para habitação social.

Foram várias as críticas a esse modelo, que vinculava a pré-fabricação seriada à rigidez e à uniformidade, para definir um sistema construtivo desenvolvido sem se pensar nas qualidades intrínsecas de sua arquitetura e sua relação com o entorno urbano: a cidade.

Esse cenário, porém, vem se modificando drasticamente nas últimas décadas, com a introdução de tecnologias de produção capazes de oferecer soluções cada vez mais flexíveis e versáteis, inclusive no campo da pré-fabricação.

Acompanhando essa tendência, as tecnologias digitais de fabricação, uma alternativa cada vez mais acessível ao meio técnico e à sociedade em geral, incentivaram projetistas a explorar soluções que estimulam a pesquisa de geo-



► **Figura 1**

Escultura de Frank Gehry em formato de peixe, projetada e executada digitalmente – Porto Olímpico, Barcelona, Espanha (1992)

Fonte: By Till Niermann - Own work, CC BY-SA 3.0

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7900110> (06/10/16)

metrias mais complexas, desafiando os princípios da padronização que, até então, dominavam os meios de produção.

Segundo Kolarevic¹ (2003), a era digital reconfigurou radicalmente a relação entre concepção e produção, criando

uma conexão direta entre o que pode ser concebido e construído. Os projetos de edifícios, atualmente, não só nascem digitalmente, como são realizados digitalmente por meio de processos “file-to-factory”, que fazem uso de tecnologias

¹ KOLAREVIC, B. ARCHITECTURE IN DIGITAL AGE; DESIGN AND MANUFACTURING. NEW YORK: SPON PRESS, 2003.



de controle numérico computadorizado (CNC) para fabricação.

Gershenfeld² (2005), por sua vez, em seu icônico livro *"FAB; The coming revolution on your desktop – From personal computers to personal fabrication"* pondera que, graças à convergência da computação e fabricação, hoje é possível converter bits em átomos, imprimindo objetos a partir de suas imagens ou modelagem virtual.

Neste artigo aborda-se a fabricação digital aplicada à tecnologia do concreto e suas perspectivas de desenvolvimento, tomando-se como base os recentes avanços e desenvolvimentos que vêm ocorrendo em escala planetária.

2. O ESTADO DA ARTE DA FABRICAÇÃO DIGITAL

Um dos primeiros projetos a ser concebido e realizado digitalmente foi a grande escultura em formato de peixe projetada por Frank Gehry em Barcelona, no ano de 1992 (figura 1). Nessa época o arquiteto já testava os limites das ferramentas digitais na concepção de seus projetos, mas ainda existiam muitas barreiras na transposição de modelos digitais para o canteiro de obras.

A solução apareceu com a adoção de um software poderoso, o CATIA, inicialmente desenvolvido pela Dassault Aviation para a construção do caça Mirage. Como ferramenta de modelagem baseada na curva de Bézier, o CATIA oferecia uma capacidade de análise de superfícies que não existia em outros softwares, além de permitir a planificação de superfícies curvas com precisão. Para a fabricação da escultura de Gehry, um consultor permaneceu na fábrica em que foi produzida a estrutura metálica, onde desenvolvia desenhos de fabrica-

ção a partir do modelo tridimensional digital, que saíam de seu computador diretamente para a linha de produção.

Embora o uso intensivo das ferramentas digitais para a concepção de projetos seja relativamente recente, ao contrário do que indica o senso comum, as ferramentas de fabricação digital possuem mais de 50 anos de existência.

Em paralelo à disseminação dos computadores pessoais a partir do começo da década de 1980, as tecnologias de fabricação digital passaram a ter um alcance ainda maior, com o advento de sistemas de prototipagem rápida, como a estereolitografia (SLA), as cortadoras a laser e outros equipamentos de comando numérico, que passaram por um processo exponencial de miniaturização e incremento de seu potencial produtivo.

Esse salto culminou, ao final dos anos 2000, com o aparecimento de máquinas CNC cuja operação, dimensões e custos eram muito mais acessíveis, e passíveis de serem chamadas de equipamentos de fabricação pessoal (GERSHENFELD, 2005).

Analogamente à evolução no universo dos computadores, que em 1950 ocupavam andares inteiros em edifícios e hoje são carregados no bolso, pode-se dizer que as máquinas de comando numérico que pesavam toneladas e se serviam de enormes *"mainframes"*, atualmente podem funcionar sobre a mesa de um escritório, conectadas a um computador pessoal como, por exemplo, uma impressora 3D.

2.1 Processos de fabricação

A fabricação ou manufatura digital é o termo genérico que engloba pro-

cessos distintos de manufatura que possuem o fato em comum de fazerem uso de equipamentos e máquinas de Comando Numérico Computadorizado (CNC).

Em linhas gerais, os processos de fabricação digital podem ser classificados como sendo aditivos, subtrativos ou conformativos.

Na manufatura aditiva, ou impressão 3D, o material de base é depositado por extrusão (filamentos termoplásticos ou materiais de base cimentícia), processado por sinterização a laser ou impresso por meio de aglutinantes aplicados sobre material em pó, camada sobre camada, sucessivamente, formando assim o objeto final.

Os processos subtrativos ocorrem quando a conformação final do objeto é obtida pelo desbaste e retirada do material de base, como nos processos tradicionais de usinagem. Fresadoras, cortadoras a laser, jato d'água e plasma são alguns dos equipamentos mais utilizados nesse tipo de processo.

Já nos processos conformativos o material de base não sofre desbaste, adição ou transformação de estado físico, mas sua forma é alterada diretamente pela deformação mecânica do material, utilizando-se para tanto uma calandra ou braços robóticos, por exemplo.

Em quaisquer dos processos de manufatura digital, sejam eles aditivos, subtrativos ou conformativos, a lógica é sempre a mesma: um modelo virtual é gerado por computador (*CAD-Computer Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador) e nele são introduzidos os parâmetros pertinentes à sua fabricação (*CAM-Computer Aided Manufacturing* ou Manufatura Assistida por Computador). Após essa etapa o programa gera uma

² GERSHENFELD, N. *FAB; THE COMING REVOLUTION ON YOUR DESKTOP - FROM PERSONAL COMPUTERS TO PERSONAL FABRICATION*. CAMBRIDGE-MA, BASIC BOOKS, 2005.



► Figura 2

Ilustração do sistema construtivo “Contour Crafting” baseado na extrusão de material cimentício

Fonte: <http://www.archdaily.com/554739/nasa-tech-brief-awards-contour-crafting-s-automated-construction-methodology-top-honors> (15/10/16)

sequência de instruções numéricas, o G-Code³, que vai comandar um equipamento controlado por computador (CNC) de maneira a que ele execute todas as diferentes tarefas necessárias para a fabricação de um determinado objeto.

Diferentemente das máquinas utilizadas na manufatura tradicional em série, que são ajustadas — ou até mesmo fabricadas — para executar uma mesma tarefa específica indefinidamente, uma máquina CNC pode produzir objetos em uma escala da ordem de uma ou pouquíssimas unidades. Para esse equipamento flexível, não existem formas ou ajustes preestabelecidos; ele obedecerá as instruções contidas no G-Code correspondente, possibilitando assim um altíssimo grau de personalização ou customização.

2.2 Os robôs industriais

Da mesma forma que as demais tecnologias e máquinas de comando numérico computadorizado, a invenção

dos robôs industriais não é derivada do desenvolvimento de tecnologias recentes. Ainda em 1954 foi depositada a patente do que viria a se tornar, em 1959, o primeiro robô industrial, o *Unimate* (*The International Federation of Robotics*, 2012). Pesando duas toneladas e dotado de atuadores hidráulicos, o *Unimate* restringia-se a movimentar partes mecânicas entre linhas de montagem.

Ainda no final da década de 1960 espalham-se pela indústria automotiva os braços robóticos, cuja versatilidade, somada à capacidade de seguir com precisão caminhos predefinidos no espaço, propicia o uso desses equipamentos em tarefas mais sofisticadas, como a montagem e solda de componentes. A primeira linha de montagem a adotar uma série de braços robóticos programáveis *Unimate* foi a fábrica de automóveis da GM (*General Motors*) em Lordstown (Ohio, EUA), onde em 1969 as máquinas assumiram o lugar de trabalhadores humanos nas perigosas tarefas de forja e fundição.

Em 1973 já passava de três mil

o número de robôs industriais em operação. Em 2013, exatamente quarenta anos depois, esse número alcançava um milhão e seiscentas mil unidades.

O avanço desses números trouxe uma inevitável queda de preços que, aliada ao desenvolvimento de novas capacidades da ferramenta, levou a uma ampla difusão de seu uso em outras indústrias além da automotiva, tais como: eletroeletrônica, química e de comunicação.

Atualmente esses equipamentos, extremamente flexíveis, já não são vistos exclusivamente em seu ambiente de origem, as linhas de montagem automobilísticas. Grandes instituições de ensino e pesquisa na Europa, Ásia e Estados Unidos utilizam robôs industriais de seis ou sete eixos em suas pesquisas sobre a construção de geometrias avançadas. *ETH* (*Swiss Federal Institute of Technology in Zurich*), *MIT* (*Massachusetts Institute of Technology*), *TU Delft* (*Delft University of Technology*), *University of Cambridge*, *Tsinghua University* (China), *Universität Stuttgart* e *SCI-Arc* (*Southern California Institute of Architecture*) são apenas algumas referências de uma longa lista de mais de quarenta instituições onde o uso dessas ferramentas já faz parte do dia-a-dia.

Apesar disso, uma das grandes barreiras para a disseminação mais generalizada do uso dessas ferramentas digitais, no caso específico dos robôs, é o fato dessas máquinas ainda serem relativamente perigosas e seu uso requerer uma série de precauções e proteções para que se evitem acidentes com seres humanos nas linhas de produção, os quais podem ser fatais.

Desde o começo dos anos 2010, o

³ G-CODE ou CÓDIGO G, EM PORTUGUÊS, É UMA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO SIMPLES, CRIADA NO MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT) E UTILIZADA DESDE A DÉCADA DE 1950 NO CONTROLE DE MÁQUINAS DE COMANDO NUMÉRICO. EMBORA SEJA CHAMADA DE LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO, SEU USO NÃO PERMITE MAIORES ENCADEAMENTOS LÓGICOS, COMO EM UMA LINGUAGEM DE MAIS ALTO NÍVEL, RESTRINGINDO-SE A PASSAR PARA A MÁQUINA INSTRUÇÕES REFERENTES AO SEU POSICIONAMENTO NO ESPAÇO, VELOCIDADES, AVANÇOS E OUTRAS CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DO EQUIPAMENTO UTILIZADO.



emprego de robôs industriais vem crescendo no setor da Construção Civil, em virtude do desenvolvimento de novas tecnologias de visão computacional e de sensores, que aliadas a sistemas de AI (Artificial Intelligence ou Inteligência Artificial), permitem o uso destes equipamentos CNC em atividades conjuntas com humanos, de maneira cada vez mais integrada e segura.

Com a solução à questão de segurança em uso, vislumbra-se o dia em que esses equipamentos serão encontrados desempenhando suas tarefas lado a lado com trabalhadores nos cantos de obra espalhados pelo mundo.

3. FABRICAÇÃO DIGITAL E TECNOLOGIA DO CONCRETO: 3D “CONCRETE PRINTERS” E PRODUÇÃO ROBOTIZADA

3.1 “Contour Crafting” (University of Southern California)

É possível afirmar, apoiando-se em pesquisas em bases de dados de patentes⁴ e anais de congressos especializados⁵, que a primeira pesquisa que envolve a utilização de material de matriz cimentícia e fabricação digital é aquela realizada na *University of Southern California*, intitulada “Contour Crafting” (CC) (HWANG; KHOSHNEVIS, 2004).

O sistema consiste em uma tecnologia de fabricação aditiva que utiliza o controle computadorizado para criar superfícies de forma livre. Um grande pórtico automatizado, somado a um equipamento de extrusão de material cimentício, possibilitaria a construção da estrutura ou edificação de maneira integral.

Segundo o próprio pesquisador principal (KHOSHNEVIS, 2006), a viabilização do sistema pressupõe um tal desenvolvimento e integração da indústria da construção e de todos os seus atores em torno desse novo sistema construtivo, que hoje é ainda inimaginável pensar em sua viabilidade a curto prazo, embora a sua técnica seja comprovadamente plausível.

3.2 “Freeform Construction” (Loughborough University, Reino Unido)

Outra pesquisa de fundamental importância acerca da manufatura aditiva utilizando materiais cimentícios teve origem na Universidade de Loughborough, no Reino Unido. Da mesma

maneira que a pesquisa desenvolvida pelo grupo da *Southern California University*, esse trabalho emprega um pórtico mecânico computadorizado, utilizado como meio para a deposição das camadas de matriz cimentícia, com precisão, no local desejado.

Inspirada, particularmente, nas técnicas tradicionais de impressão 3D, a pesquisa tem o apoio de importantes atores do mercado da construção mundial, como o escritório de arquitetura Foster & Partners e o Buro Happold, especializado em projetos estruturais de alta complexidade (BUSWELL et al., 2007).

Mais recentemente, em 2014, a Universidade de Loughborough firmou um acordo de cooperação com um consórcio de empresas, liderado



► Figura 3

Impressão de edificação pelo processo “3D Concrete House Printer” de Andrey Rudenko (EUA) – primeira impressora de concreto 3D portátil para impressão no local (<http://www.totalkustom.com>)

Fonte: <https://sourceable.net/wp-content/uploads/2014/11/3d-concrete.jpg> (15/10/16)

⁴ PATENTE US 7814937 B2, DEPLOYABLE CONTOUR CRAFTING. FONTE: GOOGLE PATENTS (22/06/2015).

⁵ ANAIS DO ISARC (INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION) DE 1984 ATÉ 2014. FONTE: WWW.IAARC.ORG (22/06/2015).

⁶ MATÉRIA DE JUSTIN MCGAR VEICULADA PELA REVISTA ELETRÔNICA SOURCEABLE INDUSTRY NEWS AND ANALYSIS SOB O TÍTULO “PARTNERSHIP SIGNED TO DEVELOP 3D CONCRETE PRINTING”, EM 10/12/2014 [HTTPS://SOURCEABLE.NET/PARTNERSHIP-SIGNED-TO-DEVELOP-3D-CONCRETE-PRINTING/](https://sourceable.net/partnership-signed-to-develop-3d-concrete-printing/) (15/10/16)



► Figura 4

O mais alto edifício do mundo executado com tecnologia de impressão 3D em concreto pela WinSun – Parque Industrial de Suzhou (China)

Fonte: <http://www.yhbm.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=68&id=68> (15/10/16)

pela gigante mundial da construção civil Skanska, com o objetivo de desenvolver o uso da impressão 3D em concreto. O engenheiro Rob Francis, diretor de inovação e desenvolvimento da Skanska UK (Reino Unido) declarou

na ocasião que a “impressão 3D em concreto, quando combinada com uma espécie de centro de pré-fabricação móvel, tem um potencial para reduzir o tempo necessário para criar elementos complexos para os edifícios, de sema-

nas para horas”⁶. Acrescentou ainda: “Nós esperamos alcançar um nível de qualidade e eficiência jamais visto na construção”. O objetivo final da iniciativa, segundo a mesma matéria, é desenvolver o primeiro robô comercial do mundo para impressão em concreto.

A principal diferença entre as duas pesquisas (“*Contour Crafting*” e “*Free-form Construction*”) é o fato de os ingleses partirem do princípio do uso da técnica para a execução de componentes construtivos, e não da edificação inteira, o que parece ser bem mais razoável.

Essa abordagem, ao que tudo indica, oferece algumas vantagens importantes a serem consideradas, pois permite a integração dos componentes a que dá origem com os demais sistemas construtivos já existentes no mercado, sem a necessidade de grandes adaptações na cadeia produtiva da construção civil, particularmente a pré-fabricação em concreto. Além disso, permite ao projetista uma liberdade quase que irrestrita na criação de formas complexas, uma vez que o sistema também prescinde da utilização de moldes para a execução dos elementos pré-fabricados, possibilitando a concepção de um sistema construtivo aberto, passível de integração com os demais subsistemas comerciais existentes.

3.3 “WinSun” (China)

Um dos mais recentes projetos envolvendo fabricação aditiva de concreto para edifícios foi o desenvolvido pela empresa de construção civil chinesa WinSun.

Causou espanto e se disseminou rapidamente, não apenas na mídia especializada, mas também em veículos de grande circulação, a notícia de que na China dez casas haviam sido “impressas” em concreto, em um período de menos de vinte e quatro horas.



► Figura 5

Montagem de painel pré-fabricado de grandes dimensões produzido por meio de manufatura aditiva em concreto (impressão 3D)

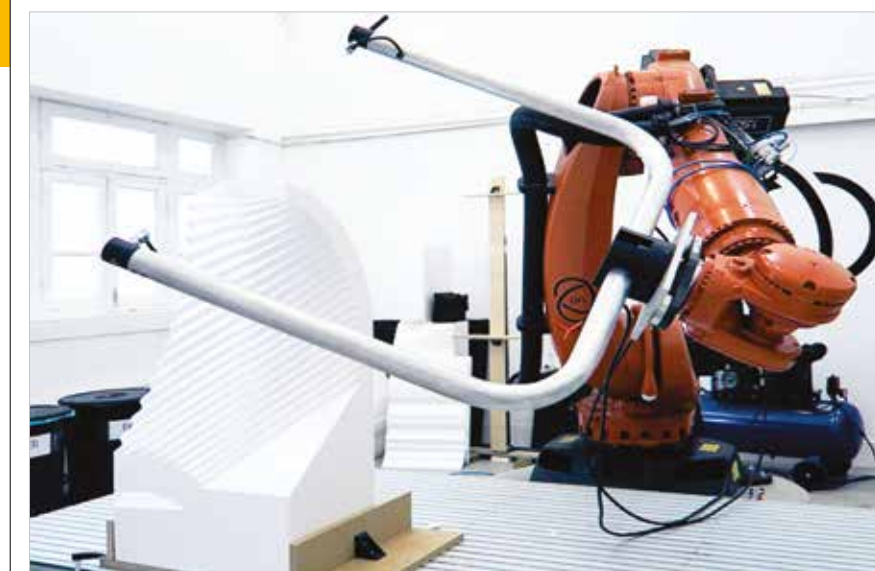
Fonte: <http://3dprintboard.com/showthread.php?2655-3D-Printed-Concrete-Homes-In-China-From-WinSun> (15/10/16)

O sistema de produção e seus materiais são muito semelhantes aos demais sistemas já comentados neste artigo. Trata-se de um grande pórtico mecanizado, munido de um bico extrusor que deposita a matriz cimentícia diretamente sobre o local desejado, sob o controle de um computador.

Apesar dos poucos dados disponíveis sobre a exata composição e dosagem dos materiais utilizados – por se tratar de uma empresa privada – cabe aqui ressaltar que o fabricante declara fazer uso de agregados reciclados em seu processo de construção, o que, em tese, caracterizaria um produto mais amigável do ponto de vista ambiental.

Um aspecto relevante do sistema construtivo proposto pela WinSun é o fato do mesmo estar baseado em grandes painéis portantes pré-fabricados, os quais cumprem, a um só tempo, as funções de estrutura e vedação.

Nesse caso, a impressão 3D em concreto leva a uma extrema flexibilidade de dimensões e formas das peças, algumas delas constituindo pequenos elementos arquitetônicos ou mesmo elementos apenas para vedação. A grande impressora 3D é utilizada não para se executar a totalidade do edifi-



► **Figura 6**

Execução de superfície regradada em molde de poliestireno por meio de fio quente acoplado a braço robótico – DFL/FAUP (Portugal)

cio diretamente no canteiro de obras, mas sim partes menores e componentes construtivos, que são produzidos em uma instalação fabril, para posterior montagem no local da obra.

3.4 Produção robotizada e as pesquisas em curso na FAUUSP

Desde 2009 a FAUUSP vem pesquisando a fabricação digital como tema vinculado à Industrialização da Construção.

Em 2011 foi inaugurado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP)

o FAB LAB SP, primeiro laboratório de fabricação digital do Brasil vinculado à rede mundial FAB LAB, liderada pelo “Center for Bits and Atoms” do Massachusetts Institute of Technology (MIT), sob a direção do Prof. Neil Gershenfeld.

Especificamente no campo da robótica aplicada à construção, entre 2014 e 2015, a FAUUSP tomou parte no projeto liderado pelo *DFL-Digital Fabrication Laboratory* da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP), com quem segue desenvolvendo novos projetos sobre robótica e tecnologia do concreto. Trata-se de



► **Figura 7**

Peças de microconcreto de alto desempenho (MicroCAD) produzidas em moldes de poliestireno executados por meio de fio quente acoplado a braço robótico – FAUUSP (Brasil) e DFL/FAUP (Portugal)

pesquisa aplicada pioneira, com um horizonte de curto prazo, que faz uso das qualidades da fabricação digital, que permite uma maior liberdade formal e um alto grau de personalização, associadas aos materiais à base de cimento e concreto, amplamente utilizados e de baixo custo, com vistas à sua utilização na construção industrializada e, particularmente, na pré-fabricação.

Essa pesquisa teve entre seus objetivos o desenvolvimento de elementos pré-fabricados leves, utilizando o micro-concreto de alto desempenho (Micro-CAD) moldado em fôrmas de poliestireno expandido, cortadas por fio quente (*hotwire*) acoplado a um braço robótico de seis eixos. Por meio dessa técnica foi possível criar elementos modulares de contenção para muros de arrimo, porém altamente customizáveis e com geometrias complexas, que podem se adaptar melhor, por exemplo, à topografia do terreno (MARTINS et al., 2015).

Pesquisa recente, que une a fabricação robótica e a tecnologia do concreto reforçado com fibras de vidro ou *Glassfibre Reinforced Concrete (GRC)*, vem sendo desenvolvida pelos autores deste artigo, Arq. Eduardo Lopes, sob orientação do Prof. Dr. Paulo Eduardo Fonseca de Campos. Essa tem como intenção retomar o processo de robotização da produção de elementos de GRC com a técnica de *spray-up* (onde a matriz cimentícia é projetada juntamente com fibras de vidro álcali-resistentes sobre um molde), investigação iniciada por Balaguer para a empresa espanhola Dragados, na década de 1990 (BALAGUER et al., 1994). Visa ainda trazer avanços à industrialização de base digital na construção civil, suportada pelo atual estágio de desenvolvimento tecno-

lógico, onde os custos de aquisição dos robôs são significativamente mais baixos e o grau de integração e usabilidade dos programas de computador utilizados na concepção (CAD) e na manufatura (CAM) é significativamente maior.

4. CONCLUSÃO

Já há algum tempo muito se comenta a respeito da fabricação digital como sendo o prenúncio de uma Terceira Revolução Industrial⁷. Por certo pode-se estar assistindo ao surgimento de uma inovação disruptiva ou radical (The Innovation Policy Platform, 2016), por esta representar uma oportunidade de quebra de paradigma, cujo impacto será significativo sobre o mercado e a atividade econômica futura das empresas, além de uma resposta ao esgotamento de um ciclo produtivo calcado, originalmente, nos clássicos padrões fordistas.

No setor da construção civil, e mais especificamente no segmento da construção industrializada, os saltos tecnológicos, habitualmente, se dão por meio de inovações incrementais, ou seja, aquelas baseadas em produtos, serviços, processos, organização ou métodos já existentes, cujo desempenho pode ser significativamente melhorado ou atualizado. Essa é a forma predominante de inovação na indústria em geral, ainda que a natureza da inovação e da taxa de mudança tecnológica muito possam diferir de um país para outro, entre setores produtivos e quanto aos períodos de tempo envolvidos⁸.

Os processos de projeto e fabricação executados por meio dos sistemas CAD, CAE (*Computer Aided Engineering* ou Engenharia Assistida por Computador) e CAM, integram aquilo que se

pode chamar de convergência digital ou “*continuum digital*”, como os classifica Kolarevic (KOLAREVIC, 2003). Uma ligação direta entre projeto e produção, a qual se estabelece por meio das tecnologias digitais.

A fabricação digital é aqui encarada como um tema vinculado à Industrialização da Construção, uma nova alternativa tecnológica, com inúmeros conceitos inovadores de projeto e produção a ela vinculados. Entretanto, não há porque enxergá-la como uma forma de ruptura com o passado, mas sim como um meio de continuidade, uma possibilidade a mais que permite combinar conceitos aparentemente opostos: produção padronizada e produção flexível.

Apesar de todo o potencial oferecido por estas tecnologias, no entanto, é preciso reconhecer que seu desenvolvimento e validação para uso no setor da construção civil dependem, em boa medida, do conhecimento profundo das próprias especificidades desta indústria, sem o que se corre o risco de converter a fabricação digital em um hobby ou uma curiosidade.

A aproximação entre o setor privado e o aparato de ciência e tecnologia, além dos investimentos em pesquisa, particularmente de forma consorciada, constituem uma prática que já vem oferecendo resultados tangíveis em países desenvolvidos, como a Inglaterra, caso específico da Universidade de Loughborough.

O ponto de partida deste esforço se dá com a geração de propostas criativas e a identificação de oportunidades, em um processo baseado na aplicação de metodologias para inovação e planejamento em estágios mais avançados. A equipe multidisciplinar a


⁷ THE THIRD INDUSTRIAL REVOLUTION. MATÉRIA DE CAPA DA REVISTA “THE ECONOMIST”, 21-27 ABRIL 2012.

⁸ THE INNOVATION POLICY PLATFORM (IPP, 2016) - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) AND THE WORLD BANK
[HTTPS://WWW.INNOVATIONPOLICYPLATFORM.ORG](https://www.innovationpolicyplatform.org) (6/10/16)



ser reunida em torno de um projeto de inovação radical pode abranger desde empresas produtoras de materiais e componentes para construção, até fabricantes de sistemas construtivos industrializados, que aspirem se manter inovadores e competitivos.

O concreto é, e ainda seguirá sendo, o material de construção mais conhecido e utilizado no mundo, com um crescente apelo econômico, social e ambiental no contexto desse setor produtivo. A fabricação digital ou robótica, por sua vez, é a tecnologia de manufatura mais avançada

e flexível de que se dispõe na atualidade, com forte impacto no nível das condições tecnológicas e humanas. O desafio que ora se coloca diz respeito à inovação como indutora do desenvolvimento sustentável e à visão de futuro que a construção civil será capaz de planejar para si. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BALAGUER, C. et al. Automatic Robot Path Planning for a GRC Spraying Cell. In: Automation and Robotics in Construction, p. 579–586, 1994.
- [02] BUSWELL, R. et al. Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction. In: Automation in Construction, v. 16, n. 2, p. 224–231, 2007.
- [03] GERSHENFELD, N. FAB: The coming revolution on your desktop - From personal computers to personal fabrication. Cambridge-MA, Basic Books, 2005.
- [04] HWANG, Dooil; KHOSHNEVIS, Behrokh. Concrete wall fabrication by contour crafting. In: ISARC 2004 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2004.
- [05] IFR. History of Industrial Robots: From the first installation until today. Milestones of Technology and Commercialization. [s.l.: s.n.]. Disponível em www.ifr.org/fileadmin/user_upload/downloads/forms_info/History_of_Industrial_Robots_online_brochure_by_IFR_2012.pdf (6/10/16)
- [06] KHOSHNEVIS, Behrokh et al. Mega-scale fabrication by contour crafting. Int. J. Industrial and Systems Engineering, v. 1, n. 3, p. 301–320, 2006.
- [07] KOLAREVIC, B. Architecture in digital age: Design and manufacturing. New York: Spon Press, 2003.
- [08] MARTINS P.F.; FONSECA DE CAMPOS, P.; NUNES, S.; SOUSA, J. P. Expanding the Material Possibilities of Lightweight Prefabrication in Concrete Through Robotic Hot-Wire Cutting. In: eCAADe 2015 - 33rd Annual Conference. Viena: Vienna University of Technology, 2015.
- [09] SHELDEN, D. R. Digital Surface Representation and the Constructability of Gehry's Architecture. MIT, Department of Architecture, 2002 (PhD. Thesis).
- [10] The Innovation Policy Platform (IPP, 2016) - Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) e the World Bank - <https://www.innovationpolicyplatform.org> (6/10/16).



DURABILIDADE DO CONCRETO

→ Editores	Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot
→ Editora francesa	Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées – França
→ Coordenadores da edição em português	Oswaldo Cascudo e Helena Carasek (UFG)
→ Editora brasileira	IBRACON

Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente" condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto. A edição brasileira da obra foi enriquecida com o trabalho de tradução para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

→ Informações: www.ibracon.org.br

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-22-0
Edição: 1ª edição
Formato: 18,6 x 23,3cm
Páginas: 615
Acabamento: Capa dura
Ano da publicação: 2014

