

# A Fabricação Digital e o Papel da Arquitetura para uma Mudança de Paradigma Tecno-Econômico no Setor da Construção Civil

Digital Fabrication in Brazil and the Role of Architecture for a Techno Economic Paradigm Shift in the Sector of Building Construction

**Marina Ferreira Borges**

NPGAU UFMG, Brasil

marinafborges@gmail.com

## Abstract

This paper analyzes the possibilities brought by new digital technologies, architectural design and production for a paradigm shift in the construction sector. The methodology proposes to use evolutionary economy theory, that puts innovation as a key agent for change paradigms, to see connections between existing firms in the current paradigm and the connections that could be established for a new production paradigm through digital fabrication. For this, the role of the university and its potential for innovation, will also be analyzed, both to develop product technology, and to contextualize the technology being imported into a regional context.

**Keywords:** Building Construction; Digital Fabrication; Evolutionary Economy Theory.

## Introdução

A proposta deste trabalho é analisar as possibilidades trazidas pelas tecnologias digitais de projeto e produção para uma mudança de paradigma no setor da construção civil. A automatização do projeto tem aberto novas possibilidades, que segundo Kolarevic (2003) possibilita que os arquitetos retomem a autoridade que um dia tiveram na produção de edifícios, não apenas no seu design, mas também na sua construção, com um domínio pleno sobre as decisões do processo construtivo. Mas, para alguns teóricos como Arantes (2012) o pensamento de Kolarevic representa uma ilusão de que estaria sendo reconstituída a “unidade perdida” entre o desenho e o canteiro. Sendo assim, o objetivo deste artigo é analisar se a fabricação digital pode representar uma mudança das relações econômicas de produção através de ferramentas digitais de projeto como pressupõe Kolarevic, ou se a crítica de Arantes se faz mais pertinente analisando o contexto econômico brasileiro.

Como metodologia propõe-se utilizar teóricos da economia evolucionista, que colocam a inovação como um agente central para as mudanças de paradigmas, para visualizar as conexões entre firmas existentes no paradigma atual, a manufatura, e as conexões que poderiam ser estabelecidas para um novo paradigma de produção através da fabricação digital. Para isto, também será analisado o papel da universidade e seu potencial de inovação, tanto no sentido de desenvolver tecnologia de produtos, quanto de contextualizar a tecnologia que está sendo importada para um contexto regional.

Também se espera com este trabalho fazer uma revisão crítica acerca da importação destes processos tecnológicos pelas universidades para além das questões técnicas, mas discutindo o impacto que a inovação proposta pode causar nos processos de produção na construção civil, e qual pode

vir a ser o papel que a arquitetura pretende assumir neste possível novo contexto.

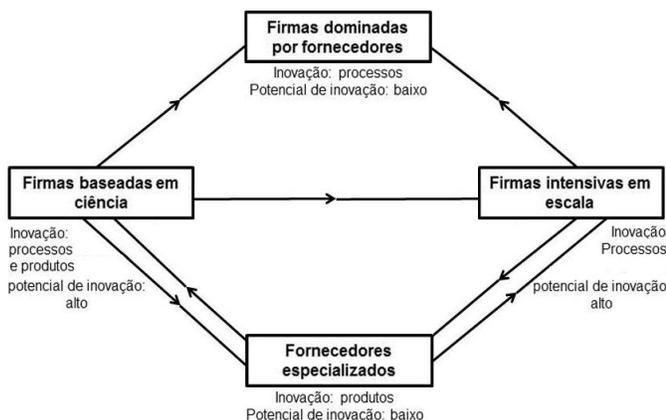
## A Inovação na Economia

Em 1776, Adam Smith refletiu sobre uma nova forma de organização devido à mudança de manufatura para a industrialização, onde a mecanização da função trazia inovação ao processo. Em *O Capital*, Marx (1867) dizia que o capitalismo só consegue sobreviver à custa de renovar suas bases tecnológicas o tempo todo. Em 1911, Schumpeter recuperou essas ideias clássicas e fundou as bases de uma teoria econômica evolucionista, onde a ideia central é de que a inovação tecnológica é a grande responsável por mudanças econômicas, políticas, sociais e ideológicas em uma sociedade. Para ele, para que a economia saia de um estado de equilíbrio e inicie um novo ciclo de desenvolvimento é necessário que se introduza algum tipo de inovação através de um novo produto, um novo processo, um novo mercado, novas fontes de matéria-prima ou, através de inovações organizacionais.

A partir das ideias de Schumpeter, surgiu uma literatura sobre o progresso onde as instituições (empresas, universidades e governo) e suas políticas tecnológicas são indutoras do desenvolvimento econômico. Freeman e Perez (1988) definem a importância da transformação de um paradigma tecnológico em um paradigma tecno-econômico para que ocorram as transformações sociais mais profundas. Sem que ela ocorra, a inovação tecnológica não é capaz de transformar sistemicamente as relações em um setor, e consequentemente, modificar as relações deste setor com os demais e com a sociedade. Para modificar as relações com a sociedade, Nelson (2008) afirma que juntamente com uma inovação tecnológica é necessário desenvolver uma tecnologia social, e que esta envolve a criação de uma infraestrutura de difusão. A inovação depende da interação

da tecnologia física com a social, mas a tecnologia social não pode ser importada. Para Abramovitz (1989) as instituições são capazes de conseguir a combinação necessária de mudanças técnicas e sociais e as universidades são centrais na construção do conhecimento e na difusão da inovação social relacionada. Nos países periféricos, o acesso à ciência e tecnologia é mais difícil, havendo uma diferença de percurso na implementação de uma nova tecnologia. Os países periféricos tendem a trabalhar com imitação da inovação, o que diminui seus riscos com a incerteza. Mas, é preciso considerar a criação de uma trajetória que desenvolva uma tecnologia social adequada ao contexto e seus riscos, e para isto é fundamental analisar o reposicionamento dos agentes.

Para analisar a relação entre os agentes, o economista inglês Pavitt (1984) foi pioneiro na criação de novos métodos para mensurar inovação e mudança tecnológica através do mapeamento do fluxo econômico entre firmas em um setor, de tal maneira que se compreenda as relações e as possibilidades de inovação que cada agente representa. Neste trabalho serão utilizadas as conexões propostas por Pavitt(1984) como método de análise para discutir as relações estabelecidas entre agentes da construção civil no Brasil no paradigma tecno-econômico da manufatura, e o posicionamento dos arquitetos no contexto da produção e as possibilidades de reposicionamento em um possível novo paradigma através da fabricação digital (Fig. 1).



**Figura 1:** Conexões entre diferentes categorias de firmas em um setor. Fonte: adaptado de Pavitt (1984).

Pavitt chama de “firmas dominadas por fornecedores” aquelas que dependem de fornecedores para uma produção manufatureira tradicional. Na construção civil, esta “firma” é representada pelo canteiro de obras, local da produção altamente dependente de outros agentes fornecedores. No canteiro, a inovação está mais vinculada aos processos, mas por ser altamente dependente de outros fatores seu potencial de inovar é baixo, estando sempre a inovação vinculada a uma redução de custos. As “firmas intensivas em escala” são as indústrias que fornecem materiais e equipamentos para a produção. Seu potencial de inovação em processos é alto devido à organização industrial da produção. Os “fornecedores especializados” seriam os projetistas de arquitetura e engenharia. Estes fornecedores inovam predominantemente em produtos, e por geralmente estar organizado em pequenas firmas seu potencial de

inovação é baixo. E finalmente, “as firmas baseadas em ciência” são as instituições que trabalham pesquisa e desenvolvimento, sendo os institutos de pesquisa e as universidades. Seu potencial de inovação é alto tanto com relação a processos quanto com relação a produtos, tendo desta maneira um papel fundamental para promover a inovação em um setor.

## Os Paradigmas Tecno-econômicos da Construção Civil

### Manufatura

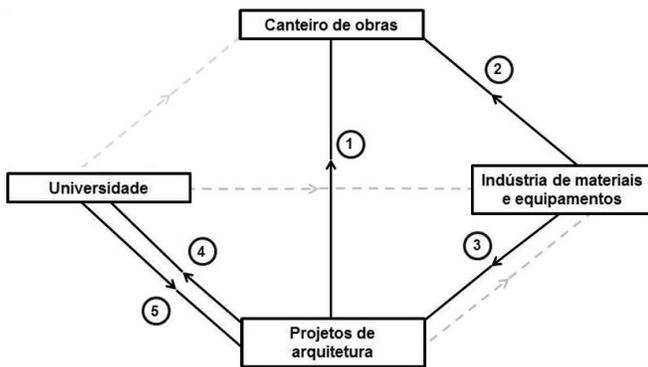
Para Ferro (apud Nobre et al., 2002), a arquitetura no Brasil é produzida de uma maneira bastante elementar, sem grandes transformações, apesar dos esforços dos que procuram a industrialização da construção. A produção em manufatura pode ser dividida entre processos de manufatura serial e manufatura heterogênea. A manufatura serial corresponde a uma sucessão cumulativa de equipes de produção que executam as tarefas no canteiro, e geralmente está presente em canteiros menores. Nos canteiros maiores, há um predomínio da manufatura heterogênea onde o objetivo é se obter processos quase industriais de produção para reduzir os custos, tendo uma montagem de peças industrializadas no canteiro e que não obedecem a uma sucessão cumulativa de trabalho.

Após a Segunda Guerra, países da América do Norte e Europa passaram a ter uma ampla utilização de componentes pré-fabricados, de tal maneira que se diminuísse o tempo de construção e o custo da mão-de-obra. Na década de 70, o governo brasileiro estimulou inovações tecnológicas no setor da construção, com tentativas de introduzir elementos pré-fabricados na dinâmica do canteiro. Máquinas foram importadas, mas não foi criada uma política industrial capaz de coordenar os ciclos de produção (Koury, 2005). Segundo Farah (1994) houve uma “nova” concepção de industrialização da construção, onde a pré-fabricação como ocorria nos países centrais foi traduzida em uma montagem de componentes industrializados no canteiro. Sendo assim, o sistema se aproximou mais de um processo de manufatura heterogênea do que efetivamente de um processo de industrialização da construção.

Shimbo (2010) afirma que o canteiro impõe uma lógica de produção que perpassa as etapas clássicas da modernidade industrial. Na construção civil, o produto é consumido onde ele é fabricado, tendo um deslocamento constante da produção. Ele não corresponde a uma fábrica, com local prévio e definido. Sua complexidade de organização e produção vem da particularidade de suas características: embora não seja artesanato, conserva alguns pontos em comum com este modo de produção; embora não seja totalmente uma manufatura, apresenta uma racionalidade semelhante; e, também não pode ser considerada indústria, mas se utiliza de elementos industrializados e se vale de inovações tecnológicas de maquinário e componentes. E é devido à incompreensão das especificidades do seu modo de produção, que Arantes (2012) afirma que as tentativas de industrialização fordista na construção civil no Brasil foram inúmeras e quase sempre fracassadas.

O papel da arquitetura neste modo de produção que visa à produção em escala é a de padronizar os produtos. A figura do arquiteto praticamente desaparece do ambiente do canteiro, não têm nenhuma influência sobre os métodos empregados na construção. Para o emprego de uma produção em escala, cabe aos arquitetos definirem um produto que tenha características de adaptabilidade a vários contextos, tendo uma simplificação do trabalho. Sendo assim, segundo Shimbo (2010) as edificações perdem os pressupostos básicos de arquitetura tais como uma relação equilibrada entre forma, função e materialidade.

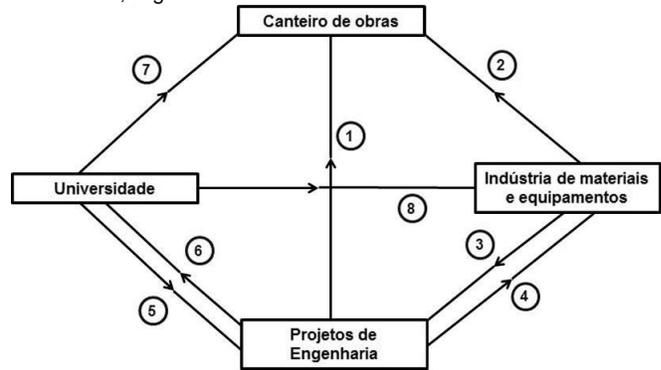
Analisando o papel dos arquitetos na produção em manufatura heterogênea com conexões entre firmas propostas por Pavitt (1984) podemos perceber a ausência de algumas importantes relações que relegam a arquitetura a um papel pouco relevante neste tipo de produção (Fig. 2).



- 1 Projetos de arquitetura orientam a construção da forma
- 2 Fornecimento de materiais e equipamentos
- 3 Projetos de arquitetura especificam materiais existentes na indústria
- 4 Universidade estuda projetos arquitetônicos
- 5 Universidade fornece mão-de-obra para o mercado

**Figura 2:** O papel da arquitetura na produção em manufatura heterogênea na construção civil baseado nas conexões de Pavitt (1984).

Embora o projeto de arquitetura oriente a produção da forma no canteiro, os arquitetos não conseguem estabelecer uma relação mais atuante na relação com os outros agentes. Sua relação com a indústria de materiais e equipamentos é unilateral, não havendo desenvolvimento de produtos nem de equipamentos para o fornecimento e orientação da produção. Desta maneira, os arquitetos não inovam em processos, havendo assim apenas propostas de tipologias arquitetônicas diferentes. A universidade também estabelece uma relação unilateral com a produção arquitetônica feita pelo mercado. As escolas de arquitetura não desenvolvem de maneira relevante pesquisas para o desenvolvimento de novos materiais, nem de processos inovadores para orientar a produção no canteiro. Sendo assim, estas conexões acabam sendo dominadas pelas escolas de engenharia (Fig. 3).



- 1 Projetos de engenharia (estrutura e instalações) orientam a construção
- 2 Fornecimento de materiais e equipamentos
- 3 Projetos de engenharia especificam materiais existentes na indústria
- 4 Projetos de engenharia para materiais e equipamentos
- 5 Universidade fornece mão-de-obra para o mercado
- 6 Universidade estuda projetos de engenharia
- 7 Pesquisa de processos de gestão para o canteiro
- 8 Universidade desenvolve novos produtos e equipamentos

**Figura 3:** O papel da engenharia na produção em manufatura heterogênea na construção civil baseado nas conexões de Pavitt (1984).

As escolas de engenharia têm conexões importantes tanto com a indústria como com o canteiro de obras. Com o objetivo de diminuir custos da produção, as pesquisas desenvolvem processos gerenciais que procuram uma maior racionalidade e eficiência para a execução das tarefas. A universidade também dialoga com a indústria, desenvolvendo pesquisas de materiais e equipamentos para a melhoria de processos e produtos. Os escritórios de projeto também desenvolvem pesquisas em conjunto com a indústria e a universidade. Com o objetivo comum de se reduzir custos e aumentar os lucros, toda a inovação desde o projeto até a produção é direcionada para uma otimização de tempo de produção e barateamento dos materiais. Desta forma, os engenheiros tem atualmente uma posição mais consolidada no processo produtivo, sendo um agente mais ativo em toda a dinâmica do setor no paradigma existente.

## Fabricação Digital

A fabricação digital em arquitetura é um fenômeno recente, que emergiu nos últimos 15 anos quando os processos computacionais de projeto em softwares CAD (Computer-aided Design) e os processos de produção CAM (Computer-aided Manufacturing) se tornaram importantes objetos para o debate crítico da prática profissional e da educação no campo da arquitetura.

Neste período de instalação da fabricação digital na construção civil já é possível identificar algumas fases do uso da computação tanto no projeto quanto na produção. Até meados de 2008 a maioria dos projetos apresentava grande entusiasmo com a emergência de novas técnicas de fabricação e manufatura. O primeiro impacto significativo foi ligado às pesquisas formais e estilísticas, muito atreladas às investigações de complexidade formal pós-moderna. De acordo com Sheil (2008), os arquitetos estavam mais preocupados com a proliferação de formas resultantes da manipulação das novas ferramentas, com resultados especulativos e experimentais. A maneira de se projetar passou a ser mais importante do que o próprio objeto arquitetônico.

A fabricação digital teve um papel fundamental na produção de edifícios de formas complexas que não seriam exequíveis sem o desenvolvimento do maquinário adequado. Neste período, o principal campo de exploração da fabricação digital e tecnologias digitais emergentes de projeto estiveram associados a obras de produção restrita e simbólicas no contexto das cidades em que estavam sendo inseridas.

Após a crise econômica de 2008 os projetos passam a ostentar menos com formas digitais inusitadas e o processo se tornou menos evidente na superfície (Peters, 2013). A exploração da capacidade da nova tecnologia passou a ser utilizada para redefinir processos de concepção e produção estabelecendo conexões entre informação e material. Várias instituições de ensino de países capitalistas centrais se engajaram em pesquisa teórica e experimental, estabelecendo uma nova relação entre tecnologia e produção na arquitetura, no sentido de se desenvolver processos de materialização da forma criando um fluxo contínuo entre concepção, fabricação e montagem. A aplicação da computação passou a ser mais voltada à complexidade do processo, sendo utilizada para simular desempenho, incorporando ao projeto análise, conhecimento sobre o material e parâmetros de produção. Foram desenvolvidas novas formas de experimentação com algoritmo e design orientado ao desempenho. Com isto, os arquitetos passaram a analisar suas decisões durante o processo, fazendo com que as ferramentas digitais deixassem de ser utilizadas apenas para representação e geração da forma, mas se tornando um método de design para ampliar as habilidades de simulação e avaliação, solucionando situações complexas e permitindo explorar novas ideias.

Essa nova abordagem voltada ao desempenho, demandou uma reinterpretação do processo de concepção e construção. Ao romper com a clássica sequência do design (forma concebida pelo arquiteto, estrutura desenvolvida pelo engenheiro e fabricação e instalação definida pelo contratante), o desafio para a arquitetura e para a engenharia passou a ser não mais a construção do detalhe e a racionalização da geometria, mas o desenvolvimento de ferramentas para o controle de dados e a transferência precisa de informação do projeto para as máquinas de controle numérico. Esta mudança no processo também criou uma nova forma de colaboração entre os agentes, o que consequentemente mudou a forma de comunicação. Alguns escritórios de arquitetura tiveram que incluir equipes especializadas em computação para realizar a interface entre projeto e produção. O mais comum foi a criação de um grupo interno de especialistas como o Specialist Modelling Group (SMG) do escritório Foster+Partners. Outra alternativa foi a contratação de consultoria externa, surgindo desta maneira escritórios especializados na criação de soluções automatizadas para as etapas intermediárias entre o design digital e a fabricação como o escritório Design to Production de Arnold Walz.

O Design to Production programa uma cadeia de processo digital baseado em modelos CAD paramétricos, criando no modelo um fluxo contínuo de informação desde a concepção até a produção (Meredith; Sakamoto; Ferré, 2008). Para isto, o Design to Production desenvolve quatro etapas: primeiro organiza a relação entre o todo e as partes do modelo paramétrico. Posteriormente, as inter-relações entre as

partes são otimizadas. Num terceiro momento as partes são detalhadas e racionalizadas visando à produção através de fabricação digital. E por fim, as informações são materializadas produzindo dados de acordo com os arquivos exigidos para o envio às máquinas. Um exemplo de consultoria desenvolvida pelo Design to Production é a construção do edifício Mercedes-Benz Museum, projeto do escritório de arquitetura UNStudio. O modelo paramétrico utilizado para a concepção foi sendo desenvolvido até as fases de fabricação e montagem.

Na última década a arquitetura se voltou ao material e a sua tecnologia, criando possibilidades de uma nova síntese espacial, estrutural e de desempenho do material, estabelecendo através da computação uma integração mais profunda de geração da forma e sua materialização (Menges, 2015). O material passa a ser um mecanismo para as respostas dinâmicas às condições ambientais, sendo explorado o potencial da fabricação robótica. Esta inovação em fabricação e capacidade estrutural pode ser vista nos projetos do Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) da Universidade de Stuttgart. O instituto vem desenvolvendo alguns projetos experimentais utilizando processos de design baseados nos agentes de fabricação e nas propriedades dos materiais utilizados. Este método ativa a reciprocidade entre a geometria e a fabricação como um princípio chave para a concepção do projeto. Para tanto, são utilizadas regras de biomimética, restrições de fabricação, comportamento estrutural e características espaciais.

A incorporação da lógica construtiva e de manufatura como um comportamento que guia o projeto, permite que os arquitetos explorem relações complexas entre o desenvolvimento da forma e suas possibilidades de materialização. Esta abordagem aproxima os processos de fabricação digital à dialética da arquitetura vernácula, já que ambos são baseados em lógicas processuais e comportamentais (Menges, 2015). Desta maneira, a computação emerge como uma interface chave para a exploração do material, transformando se em um agente que modifica a lógica industrial de produção.

O processo paramétrico de projeto associado à fabricação digital tem o potencial de produzir uma rede hiper inclusiva de parâmetros e relações. O potencial de síntese de múltiplas narrativas no projeto incluindo tipologia, material e as relações de participação e produção dão legitimidade às relações internas da forma. A arquitetura paramétrica pode incorporar relações no sentido de ser mais inclusiva, mais adaptável e socialmente mais relevante. Quanto mais multivalente é o objeto, mais significativo e complexo ele se torna. A arquitetura é primariamente uma forma cultural e sócio-política, não um determinismo tecnológico. Na arquitetura digital, o discurso tem sido calcado nas técnicas de construção, mas desassociados do contexto sócio cultural, se tornando assim um objeto despolitizado (Meredith; Sakamoto; Ferré, 2008).

Segundo Ferro (2012), na arquitetura contemporânea as ferramentas digitais de projeto permitiram uma autonomia formal, onde o gesto artístico antes irrealizável tornou-se processo produtivo factível no canteiro, mas embora muitas destas obras tenham utilizado processos de fabricação digital no canteiro, este não significou uma transformação na produção. Na maioria das obras o canteiro teve uma

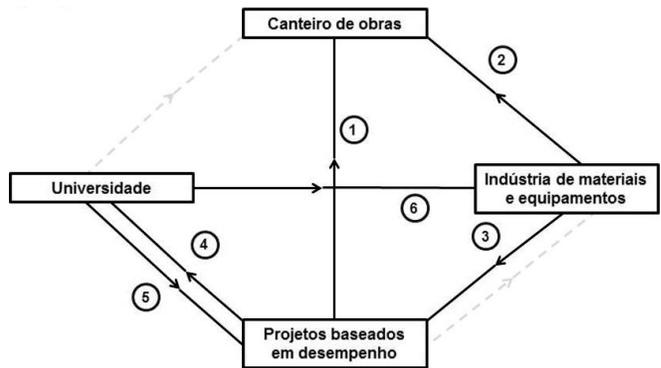
produção híbrida, com o trabalho artesanal de montagem atuando em conjunto com a fabricação digital de componentes. Em locais onde era possível obter a mão-de-obra mais barata, os processos se tornavam mais artesanais, mesmo com projetos de alta tecnologia. Sendo assim a inovação tecnológica de projetos não foi acompanhada por uma inovação tecnológica no espaço da produção, mesmo em países centrais. O canteiro manteve a mesma lógica da manufatura e da mais-valia da mão-de-obra. Para Arantes (2012) a arquitetura na era digital-financeira ampliou enormemente o repertório de formas e técnicas à sua disposição, mas esta arquitetura é reduzida a um mero significante, sem regras e limitações de qualquer espécie em busca de um grau máximo de renda. Desta maneira, percebe-se que mesmo com o avanço da tecnologia para a produção de formas complexas, os arquitetos não mobilizaram a seu favor as qualidades físicas, construtivas e plásticas dos materiais, como também desconsideraram o trabalho e os trabalhadores do canteiro.

Na América Latina, a fabricação digital começou a ser difundida com a redução dos custos de aquisição dos equipamentos e a quebra de algumas patentes, tendo começado a emergir laboratórios de fabricação digital (Fab Labs) para a produção de objetos com impressoras 3D. A maioria dos laboratórios de fabricação digital existentes no Brasil, 15 dos 22 mapeados por Sperling (2015), estão conectados a instituições de pesquisa e universidades, tendo menos de 3 anos de existência. Nos laboratórios ligados às escolas de arquitetura, a maior parte trabalha explorando possibilidades de design e de produção digital, fabricando modelos em escala como forma de se aprender a utilizar novas ferramentas de design e rotinas de produção, reproduzindo a trajetória dos laboratórios na Europa e Estados Unidos. Este processo de imitação reforça as relações de inovação entre centro e periferia, tendo em vista que nos países centrais a tecnologia aparece como uma resposta a determinadas circunstâncias, e na periferia, a tecnologia é implementada como um símbolo de progresso e aparente modernidade, desconectada da realidade local.

Para Arantes (2012) quando uma inovação ocorre sua difusão é sempre lenta, por causa da especialização crescente, dos códigos que regem a prática, dos procedimentos padronizados e da defesa das práticas tradicionais. Mas para David Gann (2012, apud Arantes, 2012, p. 220) o papel de catalizadores da mudança assumidos pelos arquitetos é central para romper o sistema travado e refratário das inovações técnicas. Para Gann, o uso das ferramentas digitais deve transcender as experimentações formais, para trabalharem no sentido de uma reordenação de todo o processo produtivo. Sendo assim, para que ocorra uma mudança de paradigma tecnocômico no setor da construção civil o campo arquitetônico a ser explorado deve transcender a produção restrita (simbólica), para abarcar uma produção de massa (dominada pelo capital econômico).

Caso os arquitetos assumam o controle da produção através das novas relações estabelecidas pela fabricação digital, as conexões entre firmas deveriam ser revistas. As ferramentas digitais emergentes possibilitam em projeto a evolução da forma representada digitalmente para a forma gerada digitalmente, onde o computador é utilizado de maneira a se explorar possibilidades, principalmente à possibilidade de

desenvolvimento de projeto baseado em desempenho. As tecnologias emergentes de projeto são complementares às tecnologias de fabricação, e neste modo de produção o arquiteto passa a ter um novo posicionamento com relação ao canteiro, já que também se torna juntamente com o engenheiro, responsável pela produção de componentes e pelo desenvolvimento de métodos construtivos. Analisando as possibilidades de conexões propostas por Pavitt (1984) e o pressuposto de Kolarevic (2003) de que o arquiteto retomaria o controle da produção teríamos a seguinte análise de relações para o paradigma da fabricação digital (Fig.4):



- 1 Produção de componentes no canteiro com máquinas CNC (fabricação digital)/ Projetos de arquitetura orientam a construção da forma (manufatura)
- 2 Fornecimento de materiais e equipamentos (manufatura)
- 3 Projetos de arquitetura especificam materiais existentes na indústria
- 4 Desenvolvimento de novas metodologias de projeto e novos softwares
- 5 Universidade absorve e desenvolve novas tecnologias e fornece mão-de-obra especializada para o mercado
- 6 Universidade desenvolve novos materiais para melhoria de desempenho e novos equipamentos para melhoria de produção

Figura 4: Possibilidades da fabricação digital na construção civil baseado nas conexões de Pavitt (1984).

Na fabricação digital a principal mudança seria na relação do projeto com o canteiro. Com a instalação de máquinas de controle numérico (CNC) no próprio canteiro, não haveria intermediários entre o projeto de arquitetura e a produção no local. Desta maneira, seria fundamental a presença do arquiteto auxiliando a mão-de-obra para orientar o corte e a produção de componentes, bem como a montagem. Embora toda a obra pudesse ser concebida com máquinas CNC, Arantes (2012) enfatiza a predominância de canteiros híbridos em obras construídas mesmo em países centrais que já utilizaram esta tecnologia, com processos artesanais são combinados com a fabricação digital. Sendo assim, no contexto brasileiro é difícil pensar em canteiros unicamente digitais devido às características já mencionadas do paradigma de produção atual. Com a presença da manufatura neste contexto, as relações estabelecidas entre projetistas, indústrias e canteiro seriam praticamente inalteradas, sendo que a produção digital seria um processo a parte dentro da manufatura.

Outra mudança significativa seria na relação entre os projetistas e a universidade. No paradigma atual do ensino de projeto, a universidade se concentra em estudar tipologias arquitetônicas (produtos). No paradigma da fabricação digital as atenções ao se estudar uma obra se voltam para uma reengenharia dos processos desenvolvidos para o desenvolvimento do projeto e de processos de construção no canteiro. Uma possível mudança de relação

com a indústria ocorreria caso a universidade investisse em pesquisa de novos materiais e processos construtivos. Segundo Pavitt (1984) “as trajetórias tecnológicas mais fortes ocorrem quando a inovação é orientada para a inovação dos processos, e menos forte quando é orientada somente para uma redução de custos”. A pesquisa em engenharia com relação à produção visa a redução de custos através de processos que otimizem a produção sem considerar que isto represente uma mais-valia da mão-de-obra. Por isto o papel da arquitetura em inovação de processos é fundamental para se repensar de uma maneira social as relações desenvolvidas no canteiro, possibilitando assim uma transformação não só tecnológica, mas social, política e econômica.

Com a formação de mão-de-obra dentro de uma nova perspectiva de produção de processos e produtos na arquitetura, seria possível que os projetistas viessem a desenvolver materiais e equipamentos para a indústria, restabelecendo uma conexão de mão-dupla com este agente. Segundo Barbosa Neto (2013), o parque industrial brasileiro já está preparado para isso e sua apropriação pelos arquitetos depende apenas da formação de profissionais capacitados a explorar a tecnologia disponível.

## **O Papel da Universidade para uma Mudança de Paradigma Tecnológico-Econômico**

A inovação está sempre vinculada à incerteza, que muitas vezes envolve custos elevados. Em alguns setores, a universidade é a única instituição capaz de investir em uma mudança de paradigma, através de pesquisa e preparo de mão-de-obra, promovendo uma rápida difusão do conhecimento. A pesquisa universitária normalmente é importante quando novas descobertas científicas influenciam diretamente a inovação industrial. O avanço do conhecimento científico promove uma expansão de teorias, dados, técnicas e capacidade de resolução de problemas. No ensino, novas possibilidades tecnológicas são abertas, propondo novas soluções pra problemas antigos.

Com uma abordagem pedagógica mais próxima de se desenvolver um novo paradigma tecnológico-econômico para a fabricação digital, um exemplo seria a experiência desenvolvida por Tramontano (2015) da Universidade de São Paulo (USP) com o uso de ferramentas paramétricas e produção digital de protótipos em disciplinas de projeto. Para ele, a incorporação destas ferramentas ao ensino implica em mudanças de postura didático-pedagógicas, projetuais, arquitetônicas e construtivas. Os alunos passam a compreender relações múltiplas entre processos de projeto e produção, já que a modelagem física e a preparação para fabricação, produção e montagem antecipam questões produtivas, construtivas e de organização da obra, passando a consultar especialistas e fornecedores reais, buscando a viabilidade de se utilizar maquinário industrial digital no arranjo produtivo local e regional. Sendo assim, os arquitetos viram propositores de demandas a empresas que já dispõem de maquinário de fabricação digital, mas ainda não são utilizados para a produção de componentes para o setor da construção civil.

Sperling (2015) acredita que para a aplicação das expertises globais é necessário criar um diálogo mais próximo com as especificidades locais, ressaltando a importância de se considerar o contexto regional na exploração de novas tecnologias. Esta postura é fundamental para o desenvolvimento de ensino e pesquisa sobre fabricação digital nas universidades do Brasil e na América Latina. As universidades estão investindo em maquinário e formação de mão-de-obra para se trabalhar dentro da perspectiva de uma nova tecnologia, o que, portanto torna necessário que se faça uma reflexão crítica das abordagens que estão sendo utilizadas. As universidades devem não apenas explorar a reconstrução de um discurso sobre a forma arquitetônica através de tecnologias digitais, mas também desenvolver pesquisas com materiais apropriados para o lugar, repensarem alternativas sustentáveis de produção e reconstruírem as relações no canteiro.

## **Conclusão**

Analisando as relações de produção no setor da construção civil no contexto brasileiro através das conexões propostas por Pavitt sob a perspectiva da teoria econômica evolucionista, podemos ver que no atual modo de produção em manufatura, os arquitetos deixaram de fazer importantes conexões com a indústria e com o canteiro, seja através dos escritórios de projeto ou através das universidades. Na manufatura, principalmente na heterogênea, os engenheiros assumiram todas estas conexões, tendo obtido desta forma uma posição de domínio e controle no espaço da produção. O problema disto é que a engenharia tende a repensar processos e formas de produção sobre o ponto de vista de se aumentar os lucros, o que para o canteiro só reforçam as relações de mais-valia com os trabalhadores.

Para que a fabricação digital represente uma mudança de paradigma tecnológico-econômico na construção civil as formas de interação entre seus agentes deveriam ser alteradas, promovendo não mais um aumento da produtividade pela mais-valia do trabalhador, mas desenvolvendo uma prática emancipatória, no sentido de construir uma prática que transforme processos e estruturas sociais que excluem a maior parte da população, criando relações solidárias. Neste caso, o projeto deveria ser concebido visando mecanismos de colaboração horizontal entre projetistas e construtores, de maneira integrada e democrática.

A arquitetura deve ser capaz de dar respostas aos problemas da sociedade, conciliando forças não somente técnicas e estéticas, mas também integrando questões econômicas, políticas, sociais, ambientais e legais. A integração dessas forças faz com que um objeto arquitetônico tenha uma maior relevância social. Sendo assim, a retomada do controle da produção no canteiro pelos arquitetos, seria importante não apenas pela introdução de uma nova tecnologia, mas para reconstruir as relações entre os agentes sob uma perspectiva menos excludente. Caso contrário, a tecnologia não representaria uma verdadeira inovação, mas apenas uma importação de tecnologia para a produção de componentes, reproduzindo as mesmas relações existentes na produção em manufatura. Para isto as faculdades de arquitetura tem um papel fundamental para a construção de uma crítica que possibilite a recriação de conexões com o canteiro e com a indústria, desenvolvendo pesquisa de processos e produtos que considerem o

contexto local e as relações que serão desenvolvidas, e não apenas importando e reproduzindo por imitação os processos tecnológicos criados em países capitalistas centrais. É preciso desenvolver juntamente com a tecnologia de equipamentos, uma tecnologia social de aplicação. Desta maneira, repensar o papel do arquiteto nos processos de produção no canteiro juntamente com o desenvolvimento de uma tecnologia social de aplicação seria um possível desdobramento e contribuição que a crítica desenvolvida neste trabalho propõe para a ampliação da discussão acerca do tema da fabricação digital no Brasil, e os possíveis caminhos que a universidade poderia seguir para a pesquisa e o ensino na formação de profissionais de arquitetura, mais engajados na produção e nas relações entre agentes que estas ocasionam.

## Agradecimentos

Aos professores Roberto Eustaáquio dos Santos e à Silke Kaap do NPGAU UFMG, à professora Márcia Rapini do CEDEPLAR UFMG, ao professor João Carvalho e ao professor Admir Borges pelas revisões e contribuições ao trabalho.

## Referências

- Arantes, P. F. (2012). *Arquitetura na era digital-financeira: desenho, canteiro e renda da forma*. São Paulo: Editora 34.
- Abramovitz, M. (1989). *Thinking about growth*. Cambridge: Cambridge University.
- Barbosa Neto, W. (2013) *Do projeto à fabricação: um estudo de aplicação da fabricação digital no processo de produção arquitetônica*. Campinas: UNICAMP, Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.
- Farah, M. F. S. (1994). *A temática do processo de trabalho e da gestão no campo de estudos da habitação*. XVIII Encontro Anual da ANPOCS. Caxambu.
- Ferro, S. (2012) *Préfacio de Arquitetura na era digital-financeira: desenho, canteiro e renda da forma*, por Pedro Fiori Arantes (p.7-13). São Paulo: Editora 34.
- Kolarevic, B. (2003) *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press.

- Koury, A.P. (2005) *Arquitetura Construtiva – Proposições para a produção material da arquitetura contemporânea no Brasil*. São Paulo: USP, Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- Menges, Achim. *Towards a Novel Material Culture*. In: Menges, Achim (Ed.) *Material Synthesis: Fusing the Physical and the Computational*. Londres: Architectural Design, Set.-Out. 2015. p. 9-15.
- Meredith, M; Sakamoto, T.; Ferré, A. (Ed.) *From control to design: parametric/ algorithmic architecture*. Barcelona: Actar, 2008.
- Nelson, R. (2008) *What enables rapid economic progress: What are the needed institutions?* *New York, Research Policy*, 37, 1–11.
- Nobre, M. T.; Stolfi, A. e Rezende, D. G. (2002) *Conversa com Sérgio Ferro*. São Paulo: FAU-USP.
- Pavitt, K. (1984) *Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory*, *Research Policy*, 13, 343-373.
- Peters, Brady. *From Model Thinking to Process Design*. In: Peters, B; Kestelner, X. (Ed.) *Computation Works: the building of algorithmic thought*. Londres: Architectural Design, Mar.-Abr. 2013. p. 8-15.
- Schumpeter, J. (1911) *A teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Nova Cultural (1985).
- Sheil, Bob. *Protoarchitecture: Between the Analogue and the Digital*. In: Sheil, Bob (Ed.) *Protoarchitecture: Analogue and Digital Hybrids*. Londres: Architectural Design, Jul.-Ago. 2008. p. 9-14.
- Shimbo, L.Z. (2010) *Habitação social, habitação de mercado: a confluência entre Estado, empresas construtoras e capital financeiro*. São Paulo: USP, Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- Sperling, D. M.; Herrera, P.C.; Scheeren, R. *Migratory Movements of Homo Faber: Mapping Fab Labs in Latin America* (2015). In Celani, G.; Sperling, D. M.; Franco, J. (Ed.) *Computer-Aided Architectural Design: The Next City – New Technologies and the Future of the Built Environment*, (pp.405-421). Berlin: Springer-Verlag 2015
- Tramontano, M. (2015) *Quando pesquisa e ensino se conectam: design paramétrico, fabricação digital e projeto de arquitetura* (p. 544-550) In: São Paulo: Blucher