

IV enanparq

Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
Porto Alegre, 25 a 29 de Julho de 2016

A FABRICAÇÃO DIGITAL E O PAPEL DA ARQUITETURA PARA UMA MUDANÇA DE PARADIGMA TECNO-ECONÔMICO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

SESSÃO TEMÁTICA: PROJETO DIGITAL E FABRICAÇÃO NA ARQUITETURA:
ENSINO, PESQUISA E DESAFIOS.

Marina Ferreira Borges
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFMG
marinafborges@gmail.com

A FABRICAÇÃO DIGITAL E O PAPEL DA ARQUITETURA PARA UMA MUDANÇA DE PARADIGMA TECNO-ECONÔMICO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

RESUMO

A proposta deste trabalho é analisar as possibilidades trazidas pelas tecnologias digitais emergentes, de projeto arquitetônico e produção no canteiro para uma mudança de paradigma tecnológico e econômico no setor da construção civil. Como metodologia propõe-se utilizar teóricos da economia evolucionista, que colocam a inovação como agente central para as mudanças de paradigmas, e desta maneira visualizar as conexões entre firmas existentes no paradigma atual, a manufatura, e as conexões que poderiam ser estabelecidas para um novo paradigma de produção por meio da fabricação digital. Para isso, 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, desenvolvendo processos de produção emancipatórios para a construção civil.

Palavras-chave: Construção Civil. Fabricação Digital. Teoria Econômica Evolucionista.

DIGITAL FABRICATION IN BRAZIL AND THE ROLE OF ARCHITECTURE FOR A TECHNO ECONOMIC PARADIGM SHIFT IN THE SECTOR OF BUILDING CONSTRUCTION

ABSTRACT

This paper analyzes the possibilities brought by new digital technologies, architectural design and production for a technological and economic 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, it will also be analyzed the role of the university and its potential for innovation, both to develop product technology, as to contextualize the technology being imported into a regional context, developing an emancipatory production processes for the construction industry.

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

1. INTRODUÇÃO

A fabricação digital é um tipo de produção de objetos físicos a partir de modelos digitais, cujos dados são enviados diretamente para equipamentos controlados numericamente, eliminando etapas intermediárias de produção. A fabricação digital já existe desde a década de 1950, tendo sido largamente utilizada na produção de componentes para a indústria aeronáutica e automobilística. Devido ao avanço desse tipo de maquinário nas últimas décadas e a redução de custo dos equipamentos, esse processo de fabricação começou a ser empregado na construção civil a partir do aperfeiçoamento de tecnologias de projeto dos sistemas CAD (computer-aided design) e das tecnologias de fabricação dos sistemas CAM (computer-aided manufacturing).

A automatização do projeto em arquitetura tem aberto novas possibilidades de projeto e produção. Segundo Kolarevic¹ (2003) a era digital 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 Pedro Arantes² (2012) o pensamento de Kolarevic representa uma ilusão de que estaria sendo reconstituída a “unidade perdida” entre o desenho e o canteiro. Sendo assim, através de um ponto de vista macroeconômico, o objetivo deste artigo é analisar se a fabricação digital pode representar uma mudança das relações econômicas de produção por meio de ferramentas digitais de projeto como pressupõe Kolarevic, ou se a crítica de Arantes se faz mais pertinente analisando o contexto econômico brasileiro.

Como método serão analisadas as relações de produção na construção civil sob a perspectiva da teoria econômica evolucionista, em que a inovação é considerada um fenômeno central para mudanças de paradigmas. Serão avaliadas se as inovações trazidas pela fabricação digital para o projeto e sua produção no canteiro são capazes de gerar uma mudança de paradigma não somente tecnológico, mas gerar o estabelecimento de um novo paradigma tecno-econômico, com transformações sociais que permitam uma aplicação massiva destas novas tecnologias. Para tanto as relações dos profissionais de arquitetura e dos profissionais de engenharia (que detém atualmente o controle da produção) serão

¹ Branko Kolarevic é professor de arquitetura na Universidade de Calgary (Canadá), tendo escrito diversos livros como autor, editor e coeditor na área de arquitetura digital, sendo uma referência teórica no estudo do uso de tecnologias digitais no projeto e na produção. Dentre suas mais importantes publicações estão: *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture* (2008), *Performative Architecture: Beyond Instrumentality* (2005) e *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (2003).

² Pedro Arantes é professor na Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) e doutor pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (2010), com pesquisa sobre as transformações na forma e nos processos produtivos na arquitetura contemporânea, tecnologias construtivas, autogestão e movimentos sociais. É autor dos livros "Arquitetura Nova" (2002) e "Arquitetura na era digital-financeira" (2012).

investigadas no paradigma da manufatura, e posteriormente, as possíveis relações que poderiam ser construídas em um paradigma de fabricação digital com uma reordenação do processo produtivo.

Neste trabalho, serão discutidas as relações estabelecidas entre agentes da construção civil no Brasil, o posicionamento dos arquitetos no contexto da produção e as possibilidades de reposicionamento em um novo paradigma. Como método para analisar as relações entre firmas, serão utilizadas as conexões propostas pelo economista inglês Pavitt³ (1984) (Fig. 1).

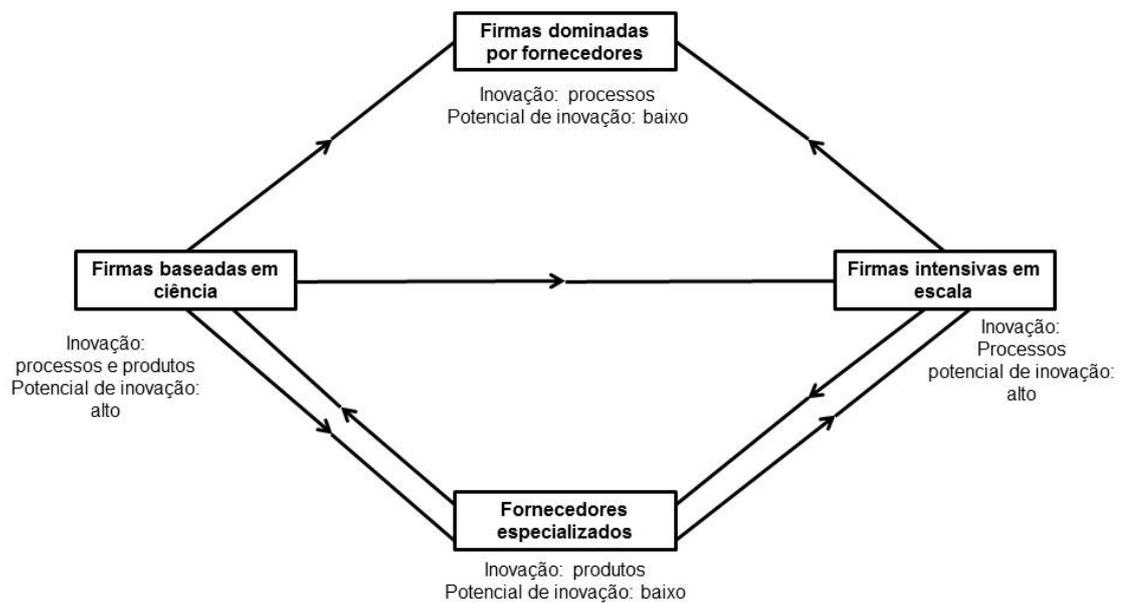


Figura 1 - Conexões entre diferentes categorias de firmas em um setor. Fonte: adaptado de Pavitt, 1984.

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. Na construção civil, podemos dizer que esta “firma” é representada pelo canteiro de obras, local da produção altamente dependente de outros agentes fornecedores. 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” serão considerados para análise do setor da construção, os fornecedores de projetos, que no caso é representado por projetos de arquitetura e engenharia. Estes fornecedores inovam

³ Pavitt 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.

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.

Para análise das relações de produção no setor da construção civil propõe-se investigar o paradigma tecno-econômico da manufatura considerando o posicionamento atual dos arquitetos e o posicionamento dos engenheiros, detentores do controle da produção, principalmente em canteiros maiores e com características mais industriais. Para explorar a viabilidade de instalação de um possível novo paradigma tecno-econômico através da fabricação digital, serão consideradas as novas relações de projetos e as conexões entre firmas que poderiam ser construídas.

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.

2. OS PARADIGMAS TECNO-ECONÔMICOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 MANUFATURA

Para Sérgio 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 em que o objetivo é se obter processos quase industriais de produção, com o objetivo de se 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. No Brasil, os preceitos modernistas foram

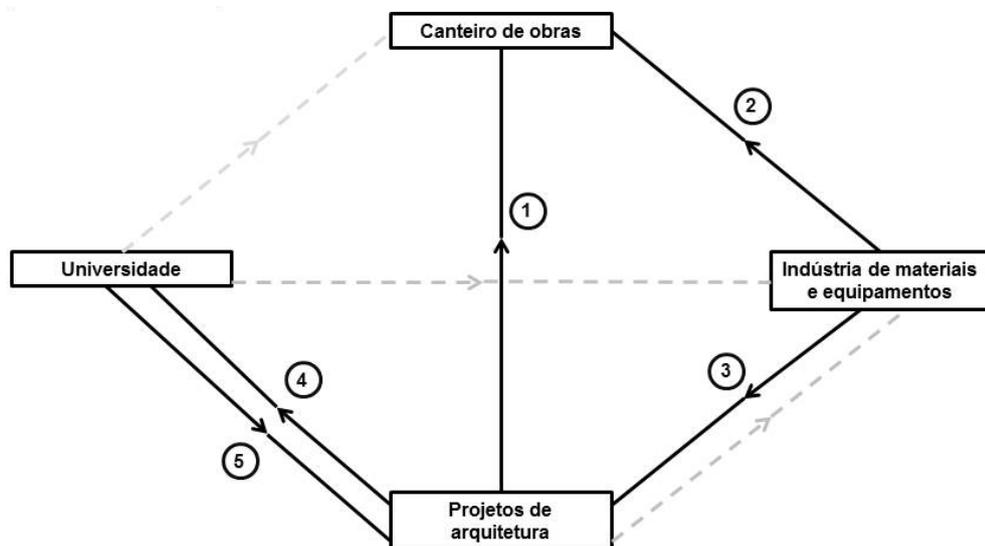
estabelecidos apenas como a inovação no sentido da criação de um novo repertório de formas. Ferro (apud NOBRE et al., 2002) acredita que a euforia desenvolvimentista havia sido prejudicial na medida em que tentava adequar nossa realidade a um futuro industrial que não se confirmava.

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) no Brasil houve uma “nova” concepção de industrialização da construção, em que 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. A manufatura heterogênea procura uma padronização do processo construtivo, com ciclos mais rápidos de construção. Embora não seja considerada uma produção industrial, procura-se uma escala industrial de produção com elevado grau de especialização dos processos. Neste contexto, são encontrados um elevado grau de padronização dos procedimentos e um rígido sistema de controle do trabalho no canteiro de obras.

Mas, embora sejam utilizados insumos produzidos com alta tecnologia, o processo produtivo é descontínuo. Além disto, existe um preconceito com relação à mão-de-obra, que é considerada desqualificada, reforçando o caráter de exploração do trabalho como uma das formas de se obter mais-valia. Estes fatores dificultam o desenvolvimento tecnológico do setor, atravancando qualquer inovação de processos no canteiro. 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 foram inúmeras e quase sempre fracassadas. Houve transformações nos materiais, nas modulações e na padronização de projetos, mas mesmo a pré-fabricação parcial de componentes não altera a condição produtiva do canteiro. O canteiro continuou

caracterizado por uma variação de produtos (obras) e locais da produção, o que torna improvável o estabelecimento de séries estáveis de postos de trabalho taylorizados, além de uma irregularidade na continuação das tarefas, o que dificulta uma programação precisa do trabalho. 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 industrial, é necessário que exista uma produção em escala, e para tanto, cabe aos arquitetos definirem um produto que tenha características de adaptabilidade a vários contextos. Sendo assim, segundo Shimbo (2010) as edificações perdem os pressupostos básicos de arquitetura tais como uma relação equilibrada entre forma, função e materialidade. Dessa maneira, tem-se uma simplificação do trabalho do arquiteto para atender a uma escala industrial de produção.

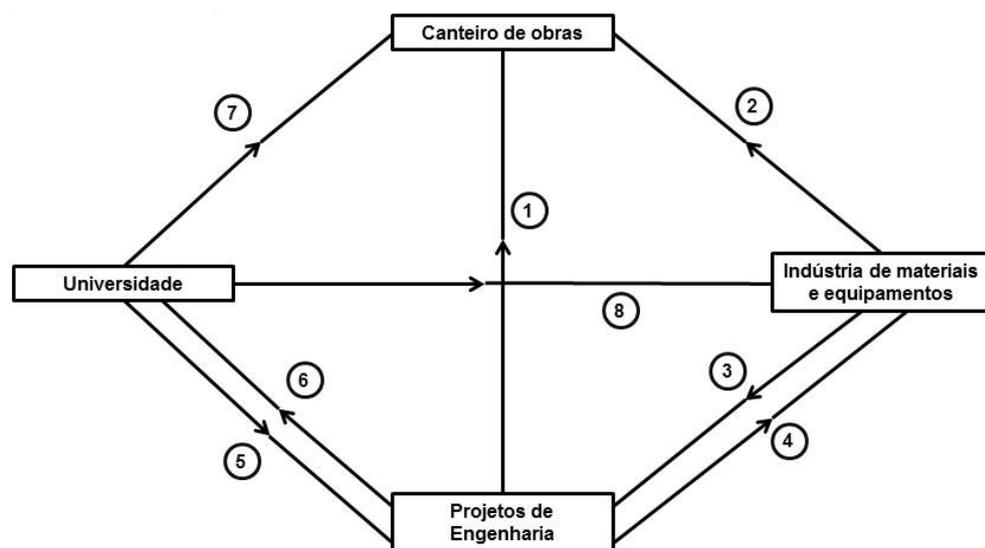
Analisando o papel dos arquitetos na produção em manufatura heterogênea nas conexões entre firmas propostas por Pavitt (1984) podemos perceber a ausência de algumas importantes relações que relegam a arquitetura a um papel pouco relevante na produção como um todo (Fig. 2).



- 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). Fonte: desenvolvido pela autora.

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 especificam em seus projetos elementos industriais existentes, o que faz com que não haja inovação de processos, havendo assim apenas propostas de tipologias arquitetônicas diferentes. A universidade também estabelece uma relação unilateral com a produção arquitetônica feita pelo mercado. Obras construídas são analisadas sobre uma perspectiva crítica, e uma nova geração de mão-de-obra de arquitetos é formada sobre esta perspectiva. Mas, 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). Fonte: desenvolvido pela autora.

As escolas de engenharia⁴ 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 muito bem 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.

2.2 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 e os processos de produção CAM tornaram-se importantes objetos para o debate crítico da prática profissional e da educação no campo da arquitetura. Na fabricação digital, o projeto é desenvolvido como um modelo tridimensional e suas partes componentes são produzidos utilizando um processo de prototipagem em máquinas específicas que transformam uma informação digital em um modelo físico. O objeto produzido contém todos os dados do modelo computacional, reproduzindo com grande precisão o detalhamento proposto em projeto.

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

⁴ Neste caso não vamos considerar apenas a engenharia civil, mas todos as engenharias tais como mecânica, elétrica, de produção, de materiais e de automação que também fazem parte do contexto da produção no canteiro de obras.

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 performance, 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 conseqüentemente 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 implementa uma cadeia de processo digital baseada 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).

Para FERRO (2012), na arquitetura contemporânea as ferramentas digitais de projeto permitiram uma autonomia formal, em que o gesto artístico antes irrealizável tornou-se processo produtivo factível no canteiro, mas embora muitas das obras de capital simbólico 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.

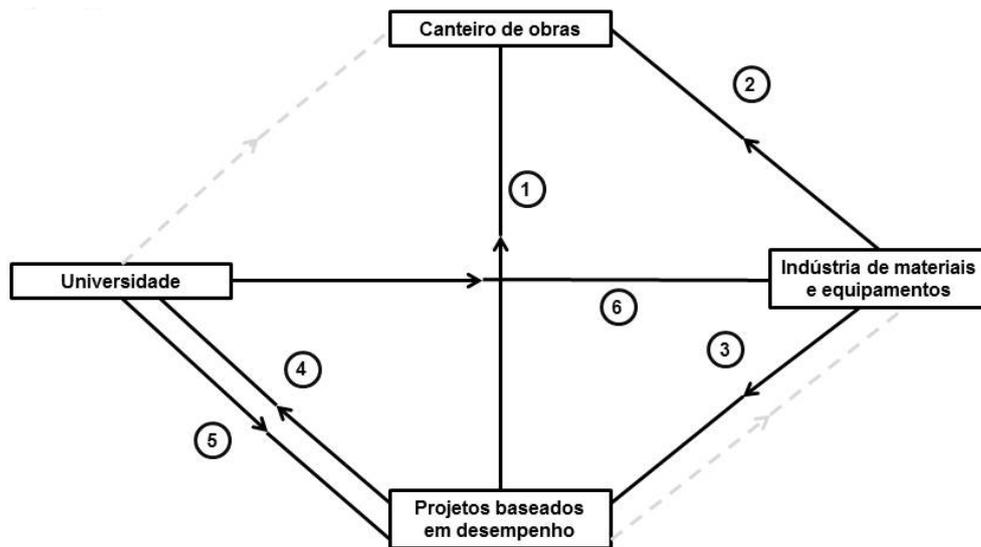
Para Arantes (2012) a arquitetura na era digital-financeira ampliou enormemente o repertório de formas e técnicas à sua disposição, mas essa arquitetura é reduzida a um mero significante, sem regras e limitações de qualquer espécie em busca de um grau máximo de renda. Dessa maneira, percebe-se que mesmo 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. O MIT (Massachusetts Institute of Technology) foi o responsável pela difusão da tecnologia implementando os primeiros laboratórios no Brasil. Sua rede de Fab Labs tem atualmente 250 laboratórios espalhados pelo mundo, sendo que 5% estão localizados na América Latina. Segundo Sperling (2015), os desafios de implementação no Brasil e na América Latina, estão associados a criar-se uma cultura de inovação, substituir o pensamento competitivo (muito presente em ambientes com baixo grau de inovação) por um pensamento colaborativo, e, por fim, a otimização de fatores econômicos e administrativos, tais como a redução de burocracias e custos de aquisição de equipamentos. 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 tecno-econômico no setor da construção civil através das tecnologias digitais, 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. Sendo assim, 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 (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). Fonte: desenvolvido pela autora.

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. Logo, 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.

3. O PAPEL DA UNIVERSIDADE PARA UMA MUDANÇA DE PARADIGMA TECNO-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, por meio 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 tecno-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. Os alunos passam 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. 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. Desta forma, as universidades poderiam 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 e a repensarem alternativas sustentáveis de produção de componentes e das relações no canteiro.

4. CONCLUSÃO

Mediante análise das relações de produção no setor da construção civil no contexto brasileiro por meio 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 dessa forma uma posição de domínio e controle no espaço da produção. O problema disso 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 tecno-econômica 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 isso 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. Dessa 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.

BIBLIOGRAFIA

Arantes, Pedro Fiori. *Arquitetura na era digital-financeira: desenho, canteiro e renda da forma*. São Paulo: Editora 34, 2012.

Barbosa Neto, Wilson. *Do projeto à fabricação: um estudo de aplicação da fabricação digital no processo de produção arquitetônica*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2013.

Farah, Marta F. S. "A temática do processo de trabalho e da gestão no campo de estudos da habitação". In: 18º Encontro Anual da ANPOCS, Caxambu. *Anais: 18º Encontro Anual da ANPOCS*. Caxambu: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, 1994. p.1-21.

Ferro, Sérgio. Prefácio de *Arquitetura na era digital-financeira: desenho, canteiro e renda da forma*, por Pedro Fiori Arantes, 7-13. São Paulo: Editora 34, 2012.

Kolarevic, Branko. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2003.

Koury, Ana Paula. *Arquitetura Construtiva: Proposições para a produção material da arquitetura contemporânea no Brasil*. Tese de doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2005.

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.

Nobre, Morita Tatiana; Stolfi, Ariane e Rezende, Daniela G. *Conversa com Sérgio Ferro*. FAU-USP, 2002.

Pavitt, Keith. "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory", *Research Policy*, New York, n. 13, p. 343-373, 1984.

Peters, Brady. "From Model Thinking to Process Design." In: Peters, B; Kestelie, X. (Ed.) *Computation Works: the building of algorithmic thought*. Londres: Architectural Design, Mar.-Abr. 2013. p. 8-15.

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, Lúcia. *Habitação social, habitação de mercado: a confluência entre Estado, empresas construtoras e capital financeiro*. Tese de doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

Sperling, David M.; Herrera, Pablo C. e Scheeren, Rodrigo "Migratory Movements of Homo Faber: Mapping Fab Labs in Latin America". In: Celani, Gabriela; Sperling, David M.; Franco, Juarez M. F. (Ed.) *Computer-Aided Architectural Design: The Next City – New Technologies and the Future of the Built Environment*, 405-421. Berlin: Springer-Verlag, 2015.

Tramontano, Marcelo. "Quando pesquisa e ensino se conectam: design paramétrico, fabricação digital e projeto de arquitetura". *Arquitextos* 190.01 (2016). Acesso em: 28 de abril, 2016. ISSN 1809-6298.