



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Tecnologias construtivas para produção de edifícios no Brasil: perspectivas e desafios¹

Mercia Maria Semensato Bottura de Barros

São Paulo. 2013

¹ Texto preparado pela autora para compor o Relatório Final da Pesquisa “Subsídios para a Definição de Estratégias de Apoio à Indústria da Construção Civil”. Fundação Getúlio Vargas (FGV) e Instituto Euvaldo Lodi (IEL) - Núcleo Regional do Estado do Rio de Janeiro - Produto 4 - Diagnóstico da Divisão da Construção de Edifícios - 2ª Versão - 23 de outubro de 2013 (não publicado). Por se tratar de conhecimento prévio ao desenvolvimento do trabalho sua publicação foi autorizada.

1. PERSPECTIVA HISTÓRICA DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

A atual configuração da indústria da Construção Civil e, particularmente a de construção de edifícios, não se estabeleceu em um curto espaço de tempo. Como bem destaca Vargas (1994), *“o aparecimento de uma engenharia, radicada num determinado meio e baseada numa tecnologia autêntica - que é a condição necessária para a industrialização (...) - é um processo cultural que exige preparação prolongada, através de estágios sucessivos”*.

Assim, para melhor análise da situação atual do subsetor de produção de edifícios quanto às tecnologias construtivas, apresenta-se um breve retrospecto do caminho percorrido desde a sua formação.

Segundo Vargas (1994), houve um primeiro estágio – que durou desde a descoberta do país até o início do século 19 - puramente técnico, com ausência de qualquer ciência aplicada, limitando-se à adaptação de técnicas trazidas de outros países às condições locais. As técnicas utilizadas não envolviam conhecimento teórico ou de pesquisa. As obras eram ‘riscadas’ e construídas por mestres portugueses ou por militares ‘oficiais de engenharia’ ou ainda por padres instruídos em questões de arquitetura para a construção de mosteiros e igrejas.

A partir do início do século 17, predominavam as construções de pedra e cal feitas artesanalmente, sem nenhum plano formal, às vezes pelo próprio morador ou seus vizinhos e amigos. As técnicas comumente empregadas nesse período eram pau a pique, adobe ou taipa de pilão, pedra, barro e, às vezes, tijolo e cal (TELLES, 1984). O trabalho era todo manual, desenvolvido por serventes ou escravos (VARGAS, 1994).

Segundo Telles (1984), o desenvolvimento tecnológico nesse período foi drasticamente atrasado e entravado devido à proibição à instalação de indústrias e à economia baseada na escravidão, que tornava o trabalho uma atividade desprezível e desestimulava qualquer inovação, devido à mão de obra abundante e, aparentemente, gratuita.

O segundo estágio foi motivado pela criação das escolas militares e de engenharia, com a chegada da corte portuguesa ao Brasil, no século 19, quando passou-se à aplicação de teorias e métodos científicos aos problemas das técnicas anteriormente estabelecidas. Nessa época, a produção deixou de ser doméstica e passou a atender

ao mercado. Em função da expansão da atividade cafeeira, houve um adensamento dos centros urbanos, exigindo-se a construção de moradias, de obras de infraestrutura urbana e a abertura de caminhos para o escoamento da produção (FARAH, 1992).

À medida que os edifícios passavam a ser produzidos como mercadoria, a produção de seus insumos também se convertia em produção para o mercado. Por essa época, apesar das pesadas importações decorrentes de especificações de projetos, quase sempre elaborados por técnicos estrangeiros, houve uma expansão lenta e gradual da indústria nacional de materiais e componentes (FARAH, 1992).

Os primeiros materiais de construção industrializados foram os tijolos. Assim, em fins do século 19, com a multiplicação das olarias, começou a se difundir uma nova tecnologia: a alvenaria de tijolos, usada em substituição à taipa (VARGAS, 1994).

Segundo Castro (1986), “a nova maneira de construir adotava estrutura metálica pré-fabricada, pisos de madeira apoiados sobre vigas metálicas, componentes hidráulicos para as áreas molhadas, telhados com telhas cerâmicas, com chapas de cobre ou de aço galvanizado, sendo tudo isso importado”.

Segundo o IPT (1988) “nas construções de pequeno porte passaram a predominar as alvenarias portantes de tijolos, às vezes complementadas por peças estruturais de aço ou de concreto armado, as fundações diretas e as coberturas com o uso de telhas cerâmicas do tipo ‘Marselha’”.

A partir da Proclamação da República, em 1889, a construção civil passou a ser organizada em bases industriais (VARGAS, 1994), aparecendo as primeiras empresas de construção que, inicialmente, atuavam como subempreiteiras na construção de infraestrutura, sob controle de grandes empresas estrangeiras e, depois, passaram a atuar também na construção de edifícios.

Surgiu nessa época a classe operária da construção que se destacava por seu padrão cultural, por seu caráter combativo e por sua capacidade de mobilização, uma vez que eram constituídos principalmente por imigrantes europeus (FARAH, 1992).

O terceiro estágio teve início no final da década de 1930, principalmente em São Paulo e no Rio de Janeiro, com a participação dos institutos de pesquisas tecnológicas.

Segundo Vargas (1994), esse período teria continuidade até quando da publicação de seu trabalho; entretanto, nos trabalhos de Farah (1992) e da Fundação João Pinheiro (1992), o terceiro período terminaria na década de 60, com a criação do Banco Nacional de Habitação, a partir de quando passa a ocorrer um novo período no

desenvolvimento do setor, analisando-o até meados da década de 1990, quando da publicação de seus trabalhos.

A partir da década de 1990, não há um diagnóstico preciso das diversas etapas tecnológicas pelas quais o país passou; assim, para este trabalho, buscou-se resgatar algumas das características mais marcantes desde finais da década de 1990 até os dias atuais.

No que seria o terceiro período de desenvolvimento tecnológico – após a década de 1960 - segundo os trabalhos de Farah (1988), da Fundação João Pinheiro, (1992) e de Vargas (1994), ocorreram grandes mudanças estruturais em toda a sociedade brasileira, com significativas repercussões sobre a indústria da construção:

- houve uma reorientação da economia para o setor industrial, propiciando condições para a criação de um subsetor de montagem industrial;
- ocorreu a implantação de infraestrutura para viabilizar a industrialização, fortalecendo o subsetor de construção pesada; e,
- deu-se a intensificação do processo de urbanização levando ao desenvolvimento do subsetor edificações, particularmente, em função da intervenção do Estado, através dos Institutos de Previdência e da Fundação da Casa Popular.

O suporte tecnológico para esse estágio de desenvolvimento foi prestado pelo “Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM), ligado à Escola Politécnica de São Paulo, pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT), no Rio de Janeiro, e também pelas Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (CASTRO, 1986; VARGAS 1994).

As alterações tecnológicas atingiram os canteiros de obras, principalmente pela incorporação de novos materiais, componentes e ferramentas, tais como: tijolos cerâmicos de oito furos (1935); lajes mistas (1935), louça sanitária (1936); telhas de fibrocimento (1937), bacias sifonadas (1943); blocos de concreto celular autoclavados (1948); fios revestidos com material termoplástico; esquadrias de alumínio; tubulações e eletrodutos rígidos de P.V.C. e materiais para revestimentos, como pastilhas cerâmicas e vitrificadas, pisos plásticos e novas tintas, além de betoneiras, elevadores de obra e vibradores de concreto (CASTRO, 1986).

A incorporação da ciência ocorreu principalmente no campo das construções pesadas e da verticalização das edificações, em função do adensamento urbano.

Com a mudança de regime de governo, em 1964, uma nova etapa de desenvolvimento da indústria da Construção Civil teve início. Intensificou-se o desenvolvimento dos subsetores construções pesadas e montagem industrial, especialmente, devido à implantação de grandes projetos na área de transportes, energia, mineração e siderurgia.

Quanto à produção de edificações habitacionais, o mercado estava paralisado, ainda que a demanda tivesse crescido vertiginosamente. Nesse contexto foi criado o Banco Nacional de Habitação (BNH) que buscava a produção de unidades habitacionais em larga escala.

A criação do BNH proporcionou uma nova fase para o setor, tendo ocorrido grande expansão até fim da década de 1970, marcada principalmente pela construção de grandes conjuntos habitacionais, nos quais foram introduzidas alterações tecnológicas importantes com vistas à industrialização da construção. Buscava-se, com isso, o incremento da produtividade e a redução de custos de produção.

A introdução de “sistemas construtivos inovadores” ou ainda “sistemas industrializados”, baseados principalmente na pré-fabricação, na sua maioria trazidos de outros países, foi a resposta dada pelas empresas construtoras de edifícios à demanda estabelecida (Figura 1).

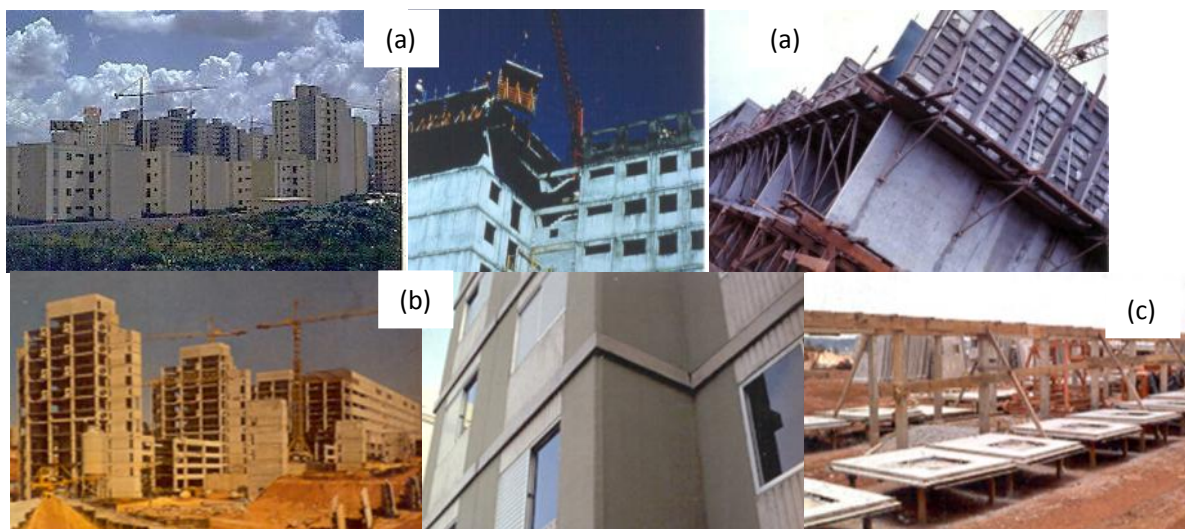


Figura 1 – Conjuntos habitacionais de meados da década de 80 em São Paulo (a) Sistema de paredes maciças de concreto moldadas com fôrmas de aço - sistema *Outnord*; (b) edifício com painéis e lajes pré-fabricados de concreto (c) produção de painéis pré-fabricados de concreto em usina, para edifícios de múltiplos pavimentos (Fonte: Arquivo Mercia Bottura Barros).

Essa modernização, segundo Farah (1992), tinha por “paradigma a produção fabril seriada, propondo a transformação dos métodos de trabalho prevaletentes no setor”, ou seja, uma modernização embasada na introdução de *alterações tecnológicas e organizacionais* na produção.

Datam dessa época os canteiros experimentais instalados em Naramdiba (BA), em 1978 e no Jardim São Paulo (SP), em 1981, em que eram testadas novas tecnologias (FARAH, 1988). Nesses espaços, empresas privadas tinham a oportunidade de testar novas tecnologias construtivas visando ao atendimento da produção de habitações em larga escala e de baixo custo. Normalmente, o Estado colocava como objetivo final a escolha da melhor tecnologia para integrar programas habitacionais futuros (BARROS, 1996; CARRASCO, 2000).

Nesse contexto, uma importante iniciativa conduzida pela COHAB-SP foi o Canteiro Experimental Heliópolis, localizado no bairro de Heliópolis (São Paulo), divisa com o município de São Caetano do Sul. Construído no contexto do Projeto Modelar, entre 1987 e 1988, buscava desenvolver a construção industrializada para produção de habitações de baixa renda, servindo como espaço para a seleção dos sistemas construtivos mais adequados a este propósito (CARRASCO, 2000).

A Figura 2 ilustra alguns dos sistemas utilizados no Canteiro Experimental Heliópolis, enquanto no Quadro 1 são apresentadas suas principais características.



Figura 2 – Alguns dos sistemas construtivos produzidos no Canteiro Experimental Heliópolis (Silva et al. 2010).

Sistemas Construtivos	Descrição
1	Paredes de concreto armado moldadas <i>in loco</i> e vedação interna em blocos de concreto
2	Estrutura metálica aparente com vedação interna e externa em blocos de concreto leve
3	Painéis autoportantes de concreto armado pré-moldado e laje pré-moldada de concreto fixada por parafusos
4	Estrutura metálica aparente, laje em vigotas e vedações em blocos de concreto.
5	Vigas, pilares e lajes pré-moldados de concreto, vedação externa em painéis pré-moldados de concreto e interna em painéis de gesso acartonado.
6	Estrutura em concreto armado moldado <i>in loco</i> e vedações em painéis pré-fabricados de concreto armado.
7	Estrutura composta por grelha metálica em forma de parabolóide hiperbólico, apoiada internamente sobre pilar central de aço preenchido com concreto (figura) e externamente sobre alvenaria estrutural armada (1 conjunto por apartamento). Preenchimento da grelha com blocos de concreto leves e concretagem para composição do piso do pavimento superior.
8	Estrutura metálica não aparente (exceto na caixa de escada), laje de placas pré-moldadas de concreto armado e vedações em placas cimentícias com encaixes macho/fêmea.

Quadro 1 – Características principais dos sistemas construtivos utilizados no Canteiro Experimental Heliópolis (Silva et al. 2010)

Buscava-se estabelecer um ciclo produtivo contínuo e definitivo para atender o déficit habitacional, com a previsão de se construir 73 mil unidades, a partir de uma industrialização de ciclo aberto, com produção livre (sem demanda fixa), flexibilidade da tecnologia com adaptação a diferentes contextos e possibilidade de acoplamento de diferentes elementos construtivos (SILVA et al., 2010).

Os processos não estavam resolvidos em sua totalidade. Eram processos mistos que incorporavam partes típicas do processo construtivo tradicional. As soluções limitavam-se a resolver principalmente o subsistema estrutura e vedação.

Segundo Castro (1986), mais de 50% da tecnologia utilizada nesses canteiros foi importada e, para a sua adaptação às condições nacionais foram exigidos investimentos que, quando não eram feitos por iniciativa dos fabricantes, cabia às construtoras fazê-lo.

Dentre os muitos processos construtivos utilizados, destacam-se aqueles produzidos com alvenaria estrutural, que é diferente da alvenaria denominada resistente, que também funcionava como estrutura e vedação nas construções produzidas no período da autoprodução e nos primeiros estágios da produção para o mercado. Na alvenaria resistente, as paredes de alvenaria funcionavam também como estrutura e eram construídos edifícios de até três pavimentos; a alvenaria estrutural, no entanto, caracteriza-se pelo planejamento em todo seu processo de produção, desde os projetos até sua execução propriamente dita, e evoluiu quanto ao número de pavimentos que podem ser construídos. Foram empregados blocos cerâmicos, de concreto e sílico calcários (HOLANDA, 2003).

Nesse período a mão de obra passou por importantes transformações, com certa perda da qualificação profissional, principalmente em função das simplificações construtivas realizadas nas edificações (CASTRO, 1986).

Além de diferentes tecnologias para a produção da estrutura, incluindo aqui a alvenaria estrutural, por essa ocasião, foram introduzidas no mercado as divisórias internas de gesso acartonado. Por volta de 1972, foi instalada a primeira fábrica, na cidade de Petrolina, estado de Pernambuco, sendo denominada Gypsum do Nordeste. Naquela época, utilizava-se como argumento para comercialização dos painéis a redução de custos e rapidez na execução, o que contribuiria para uma política de governo em tornar a casa própria acessível a uma grande parte da população.

Diversos conjuntos habitacionais que empregavam vedações verticais onde se utilizavam divisórias internas em chapas de gesso acartonado tais como: o conjunto Zezinho Magalhães Prado, com 950 unidades residenciais em Guarulhos; 840 casas em Taubaté; 100 casas na Praia Grande e um edifício de 13 andares no Sumaré, todos no estado de São Paulo (HOLANDA, 2003).

Iniciou-se também a comercialização de casas pré-fabricadas de madeira com divisórias internas em gesso acartonado (DE LUCCA, 1974).

No início da década de 80, a Gypsum do Nordeste previa que as chapas de gesso acartonado seriam largamente utilizadas nos vários Conjuntos Habitacionais (COHAB's) construídos pelo governo, o que motivou a fábrica a duplicar sua produção.

Entretanto, as condições favoráveis ao emprego de tecnologias para produção em larga escala não durou muito; em meados da década de 1980 os investimentos governamentais cessaram, o BNH foi extinto e, com ele, as políticas de financiamento habitacional. A partir de então, as condições favoráveis à utilização das novas tecnologias deixaram de existir e, com isso, foram abandonadas pelas empresas.

A fábrica Gypsum do Nordeste, por exemplo, sofreu grande dificuldade financeira, interrompendo suas atividades por seis meses durante o ano de 1986. No período compreendido entre 1980 e 1990, aproximadamente 80% das chapas produzidas eram utilizadas como forros, e os 20% restantes eram empregados como divisórias em ambientes comerciais, ou seja, não se conseguiu disseminar o uso das chapas de gesso como vedação em ambientes residenciais, tendo-se abandonado a tecnologia (HOLANDA, 2003).

E, dos muitos processos construtivos utilizados nos grandes conjuntos habitacionais, particularmente aqueles que exigiam expressivos investimentos em equipamentos, apenas os processos construtivos em alvenaria estrutural permaneceram se difundiram pelo mercado.

Com o término do BNH, no início da década de 1980, instalou-se um período de expressiva depressão para a Construção. A produção em massa - que permitiu experimentação de novas tecnologias - fazia parte do passado. Havia enorme demanda por moradia; entretanto, esta não era solvável. Sem financiamento e com juros e inflação altos, pouco havia a ser construído. As empresas executavam sem pressa; a mão de obra era mal remunerada e realizava atividades de seu domínio, limitando-se ao emprego de tecnologias construtivas tradicionais, com uso intensivo de materiais, equipamentos e baixa produtividade (Figura 3).



Figura 3 – Condições de produção ao longo do período pós-extinção do BNH (início da década de 1990) até fins do século 20: baixa produtividade, desperdícios de materiais, subjetividade nas decisões de produção, larga interferência entre os subsistemas (Fonte: Arquivo Mercia Bottura Barros).

Num momento em que se produzia pouco, com recurso abundante de mão de obra, com pouca ou nenhuma exigência por parte do cliente que consumia apenas o que lhe era possível e não o que desejava, o setor permaneceu estagnado não somente do ponto de vista comercial, mas também tecnológico. Capacitação, treinamento, para que? Inovação tecnológica, nem pensar! Quase todo desenvolvimento tecnológico realizado foi deixado de lado (BARROS; CARDOSO, 2011).

Entretanto, com poucos recursos financeiros disponíveis, somente sobreviveriam as empresas que conseguissem conquistar os poucos clientes que faziam parte de uma demanda solvável e aquelas que fossem eficientes em seus processos de produção. E assim, fechando a década de 1980, uma empresa construtora com atuação nacional passou a investir em desenvolvimento tecnológico, com vistas à racionalização da produção. Assim, de 1987 a 1995, foram desenvolvidos, avaliados e implantados métodos e processos construtivos racionalizados, dentre os quais alvenaria estrutural não armada com elevada produtividade e baixo custo de produção (Figura 4); vedação vertical, revestimentos e esquadrias racionalizados para uso conjunto com estrutura reticulada de concreto armado (Figura 5).



Figura 4 – Edifícios de alvenaria estrutural não armada de blocos (a) de concreto e (b) blocos cerâmicos, com compatibilização com esquadrias e sistemas prediais visando à racionalização do processo para obtenção de baixos custos de produção e elevada produtividade no início dos anos 1990 (Fonte: Arquivo Mercia Bottura Barros).



Figura 5 – Métodos construtivos racionalizado de produção de estrutura de concreto armado moldada no local, vedos de alvenaria de blocos de concreto e cerâmico e revestimentos de argamassa desenvolvidos e aplicados na construção nacional, a partir do início dos anos 1990 (Fonte: Arquivo Mercia Bottura Barros).

Motivado pela busca da racionalização construtiva, o mercado de construção de edifícios investiu também em inovações gerenciais. Nessa época é desenvolvido o conceito de “projeto de engenharia ou projeto para produção”; uma disciplina de projeto até então ignorada, com o foco na produção.

Os Projeto Para Produção (PPP) de diversos elementos e subsistemas do edifício Foram desenvolvidos, possibilitando não apenas a racionalização da produção como também a incorporação de adequado controle de produção.

Dentre os diversos PPP desenvolvidos citam-se:

- PPP das fôrmas, que possibilitavam prever completamente o corte de painéis de fôrmas e sua montagem;
- PPP de armaduras, que visava à racionalização dos cortes de barras, diminuindo as perdas;
- PPP de alvenaria de vedação vertical, que previa a disposição de componentes respeitando-se a modularidade prevista, a compatibilização com o projeto de sistemas prediais, identificando o posicionamento de dutos elétricos ou de

hidráulica, incluindo a previsão de shafts para passagem de tubulações de grandes diâmetros;

- PPP de esquadrias, com previsão de vergas, contravergas, marcos e contramarcos inseridos durante a produção do vedo vertical. e sistemas prediais integrados entre si (BARROS; CARDOSO, 2011).

As dificuldades de mercado da década de 1990 trouxeram desafios levando as empresas a buscarem diferenciais para a conquista dos poucos clientes solváveis principalmente porque – por ausência de financiamento - não era possível atingir as camadas de renda baixa, em que a maior demanda por moradia se concentrava. Neste cenário, ganhou destaque os conceitos de gestão da qualidade, àquela altura, largamente explorada em países europeus, uma vez que a norma internacional - ISO 8401 [ISO, 1986] - havia sido consolidada na metade da década anterior.

No Brasil, o tema foi consolidado no trabalho de Picchi (1993) em que propõe um sistema de gestão da qualidade específico para a construção civil. Segundo esse autor, a **qualidade do produto** recebido pelo cliente é a resultante de diversos elementos componentes, que atuam ao longo do processo de produção, com destaque para o **projeto**, a **conformação** e os **serviços**, os quais aborda em seu trabalho

O rápido crescimento de demanda e exigência de qualidade dos produtos originou a era da garantia da qualidade, que trouxe um projeto do produto mais exato, dando origem à engenharia da confiabilidade e à necessidade de melhor coordenação entre os departamentos. Novas ideias de gerenciamento dos recursos humanos foram incorporadas, chegando-se finalmente à gestão estratégica, encarando a qualidade como uma possível base de concorrência (BARROS, 1996).

Com a introdução de novos conceitos voltados à garantia da qualidade do processo de produção e num cenário de busca de eficiência produtiva, a produção foi retomada lentamente durante a década de 1990.

As ações de racionalização e de gestão da qualidade passaram a fazer parte do cenário. Em fins de 1998 foi lançado o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), a partir do qual o governo passou a exercer o seu poder de compra, consolidando ainda mais as bases para melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva (Ministério das Cidades, 2013).

As empresas, então, passaram a implantar - em seus sistemas de produção – o sistema de gestão da qualidade que previa, principalmente, o controle dos processos

de produção, a partir de um modelo previamente estabelecido. Dedicaram-se, assim, a estabelecer os procedimentos de produção para os principais subsistemas do edifício.

Ao ter de escrever os procedimentos, as empresas construtoras que antes não se preocupavam com o quando e como fazer e como controlar, passaram a buscar referências para a montagem do seu sistema de gestão da qualidade.

Vislumbrando um nicho de mercado, a empresa CTE – Centro de Tecnologia de Edificações, apoiada por empresas líderes do mercado, elaborou um conjunto de procedimentos básicos de produção apoiados por conceitos de racionalização, consolidando-os em livro e disponibilizando-os ao mercado (CTE, 1996). Com isso, foi possível disseminar mais rapidamente os métodos construtivos racionalizados.

2. ATUAL ESTÁGIO TECNOLÓGICO

Apenas no início do novo milênio, novos desafios foram impostos à produção. Com injeção de grande volume de recursos para financiamento e taxa crescente de empregos, finalmente as classes de mais baixa renda passaram a fazer parte do mercado e, com isso, a demanda por habitação cresceu.

Hoje, os investimentos em habitação são feitos principalmente pela Caixa Econômica Federal (CAIXA) – herdeira das funções do BNH - sob a égide do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado pelo governo federal em 2007 (BRASIL, 2013).

Em suas duas fases, esse Programa injetou recursos comparáveis apenas aos existentes no período do chamado “Brasil Grande”, na década de 1970, antes abordado, e trouxe ao segmento de produção de edifícios grandes desafios: produção de um grande número de empreendimentos, com custos compatíveis aos preços de venda, prazo de produção reduzido para que haja giro de capital, recursos limitados e custos da terra, de mão de obra e de equipamentos crescentes.

Em paralelo ao crescimento da economia e, possivelmente em decorrência dela, empresas de construção de edifícios abriram o seu capital ao mercado capitalizando ainda mais para o seu negócio. Portanto, produzir e fazer render o investimento passou a ser urgente nas organizações.

Na ânsia de utilizar os recursos financeiros disponíveis, de modo geral, os empreendimentos foram comercializados com previsão de prazos e custos fundamentados em uma realidade que não existe mais. Hoje, a mão de obra está escassa, o estoque de equipamentos não atende à demanda, as exigências ambientais e dos usuários são crescentes; os custos sobem, os prazos são dilatados.

Assim, passadas quatro décadas, o mercado de produção de edifícios experimenta desafios que, apesar de serem chamados “novos”, na sua essência são idênticos aos experimentados na década de 1970 decorrentes da necessidade de atender à demanda reprimida de milhares de brasileiros que ainda não têm acesso à casa própria e cujo poder econômico é, para a maioria, inferior a três salários mínimos por mês.

Portanto, produzir em grande escala, com baixo custo e em curto prazo são os desafios frente aos quais as organizações identificaram claramente que não seria possível vencê-los utilizando-se da mesma base tecnológica das últimas décadas, sobretudo porque o ambiente produtivo é muito mais exigente devido, principalmente, a: legislação restritiva; demandas por qualidade, por parte dos clientes e de sustentabilidade, por parte de toda a sociedade.

Nesse contexto, os processos construtivos de produção de edifícios de múltiplos pavimentos empregados até então - estrutura de concreto armado moldada no local, vedos de alvenaria de blocos de concreto ou de cerâmica e revestimentos de argamassa (Figura 5) – passaram a ser fortemente questionados, uma vez que, comumente, têm baixa produtividade, demandam recursos humanos e materiais de grande monta, além de difícil qualificação da mão de obra para os trabalhos que, por serem ainda muito artesanais, dependem muito da habilidade humana.

No início da década de 2000 surgiu nova demanda por tecnologias construtivas que permitissem aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção e, uma vez mais, o meio técnico, inspirado na indústria seriada, buscou a “industrialização da construção”. E, de repente, experiências de um passado não tão distante – fôrmas metálicas para produção de estrutura de concreto armado, elementos de aço para produção de estrutura, painéis de *drywall* (gesso acartonado) retornam como se fossem verdadeiras “inovações tecnológicas”.

Não há dúvidas de que o modelo industrial de produção seriada pode e deve inspirar a indústria da construção. No entanto, esse modelo é muito mais do que a simples adoção do que se pode imaginar uma nova tecnologia.

Portanto, fazendo coro com Barros; Cardoso (2011), questiona-se: será que o meio técnico vive um carrossel, em que se passa muitas vezes por um mesmo lugar sem dele sair? Ou será que experimenta uma espiral virtuosa que, ao passar pelo mesmo ponto, significa estar sempre em um patamar mais alto?

Esquecer-se dos ensinamentos do passado, não acumular conhecimento e reproduzir as mesmas ações é, certamente, estar no carrossel. Para vencer os desafios que se apresentam é preciso sair do lugar; saltar do carrossel. Urge embarcar na esteira de uma espiral virtuosa que, passando pelo mesmo ponto, o faz com um maior potencial.

O contexto mudou, os atores mudaram e produzir mais, em menos tempo, com menos recursos, com a qualidade requerida ao longo da vida útil do edifício e de forma sustentável, somente é possível a partir da incorporação dos princípios da industrialização da construção que vão muito além da padronização e mecanização. Segundo Barros; Cardoso (2011), eles preveem:

- **projeto do produto aderente às exigências do mercado:** incorporando inovações, o projeto deve ser concebido respeitando-se as exigências de desempenho e sustentabilidade. A construção e operação dos edifícios causam elevados impactos ao meio. É necessário agir em diversos de seus aspectos, como energia e fluxo de massa, impactos no local, adaptabilidade, conforto, manutenibilidade, entre outros aspectos hoje tratados tanto pela norma de desempenho – ABNT NBR 15575/2013, como por diversos sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios. Projetar sem considerar tais parâmetros certamente comprometerá todo o processo de produção por mais que se invista em novas tecnologias.
- **Projeto detalhado de todas as partes do produto:** o projeto deve ser concebido considerando-se a construtibilidade do edifício, possibilitando que o produto seja produzido com grande produtividade, utilizando recursos humanos fácil e rapidamente treinados e reduzindo os desperdícios em obra, que geram graves impactos.
- **Processo de construção previamente definido:** quando se pretende escala industrial, não pode haver decisões no canteiro de obras. As melhores soluções devem ser previstas, a partir da visão do todo; os recursos devem ser previamente definidos; a logística de abastecimento das frentes de trabalho adequada ao ritmo de produção, dentre muitas outras atividades, discutidas por Silva (2012).
- **Treinamento da mão de obra em curto espaço de tempo e em grande escala:** frente aos desafios apresentados, não é mais possível fundamentar a produção no uso de tecnologias com grande dependência do saber fazer do operário. São necessárias tecnologias de mais fácil aprendizado. Com os salários em elevação, há motivação para que os ingressantes no mercado de trabalho considerem atuar na

construção, particularmente na produção de edifícios. Essa mão de obra deverá ser rapidamente treinada; os investimentos em formação serão, daqui para frente, de suma importância.

Há, portanto, uma nova crise no mercado que ao trazer ameaças que devem ser enfrentadas, traz também oportunidades a serem aproveitadas.

Se os atuais métodos e processos construtivos não permitem a obtenção de resultados satisfatórios, abrem-se caminhos para um desenvolvimento tecnológico, que deverá considerar o sistema produtivo das empresas construtoras e o seu patamar tecnológico atual. Abrem-se, igualmente, oportunidades para que as empresas se capacitem ao emprego das novas tecnologias. Assim, se há carência de profissionais em todos os níveis, o potencial de formação é maior do que antes; mas espera-se uma estratégia para alinhar iniciativas de capacitação.

Com esses aspectos em vista e tendo em conta o objetivo do presente trabalho, na sequência são caracterizadas as tecnologias construtivas que potencialmente farão parte do portfólio das empresas construtoras de edifícios e os desafios por elas trazidos, com vistas a se elaborar uma política de desenvolvimento tecnológico capaz de fortalecer a indústria da construção civil.

3. PRINCIPAIS TECNOLOGIAS EM UTILIZAÇÃO

3.1 TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS PARA AMBIENTE DE GRANDE DEMANDA E BAIXO CUSTO

Os edifícios a serem produzidos daqui por diante devem ser concebidos pensando-se em todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a produção dos insumos materiais que neles serão utilizados, até na possibilidade de, um dia, virem a ser desconstruídos, devendo-se analisar previamente o impacto de tal processo.

Ao se pensar neste ciclo, a escolha das tecnologias a serem empregadas em cada empreendimento deve considerar as demandas quanto à sustentabilidade ambiental, econômica e social. Portanto, não se trata apenas da obtenção de baixos custos de produção com elevada produtividade, mas também em se pensar como tais tecnologias afetam o meio em que se vive e como interagem com a mão de obra de produção. Buscar tecnologias que permitam o desenvolvimento sustentável tanto ambiental quanto da mão de obra está, pois, na ordem do dia. Aproveitar-se das novas tecnologias para que se tenha maior atratividade na captação de recursos humanos

para o setor, com vistas a se desenvolver uma proposta de adequada capacitação da mão de obra, também deve fazer parte da estratégia de produção.

Outra variável a ser considerada quando da escolha de novas tecnologias são as exigências de desempenho associadas ao edifício. Recentemente, o país passou por um processo de estabelecimento de requisitos de desempenho a serem observados os quais estão reunidos nas seis partes da ABNT NBR 15575/2013 - Desempenho de Edificações Habitacionais:

Parte 1: Requisitos gerais

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários

Conceber novos edifícios a partir da vigência dessa norma significa estar obrigado a atender aos requisitos ali estabelecidos. Além disso, ela é também subsídio para avaliação de toda e qualquer inovação tecnológica (componentes ou sistemas construtivos) a ser inserido no processo de produção de edifícios e cujos parâmetros e características não sejam estabelecidos em normas vigentes.

Assim, quando se pretende adotar uma nova tecnologia, deve-se verificar a existência de normas que regulamentem o seu uso e, quando inexistentes, a nova tecnologia deve passar por uma análise que considere as principais exigências de desempenho. Tal análise está regulamentada pelo SINAT – Sistema Nacional de Aprovações Técnicas, um mecanismo de avaliação de produtos inovadores implantado em 2008, vinculado ao Ministério das Cidades (BRASIL, 2013).

Esse sistema prevê a avaliação prévia dos sistemas e produtos inovadores - caracterizados pela inexistência de normas técnicas prescritivas específicas aplicáveis - a partir de diretrizes propostas pela ABNT NBR 15575/2013 que estabelece os requisitos e critérios mínimos a serem atendidos pelo edifício e suas partes.

Assim, para que um novo sistema ou componente possa ser avaliado, estabelece-se previamente uma diretriz de avaliação que, depois, será aplicada para a família de produtos a que se refere. Até julho de 2013, o SINAT estabeleceu nove diretrizes para avaliação técnica de produtos ou sistemas (Quadro 2). As diferentes Diretrizes de Avaliação Técnica permitiram, até julho de 2013, a aprovação de 16 sistemas construtivos que até então não eram objeto de normas prescritivas (Quadro 3).

Diretriz SiNAT nº 001 - Revisão 02 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local
Diretriz SiNAT nº 002 - Revisão 01 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacional
Diretriz SiNAT nº 003 - Revisão 01 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing")
Diretriz SiNAT nº 004 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos formados por paredes estruturais constituídas de painéis de PVC preenchidos com concreto (Sistemas de paredes com formas de PVC incorporadas)
Diretriz SiNAT nº 005 - Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing")
Diretriz SiNAT nº 006 - Diretriz para Avaliação Técnica de argamassa inorgânica decorativa para revestimentos monocamada
Diretriz SiNAT nº 007 - Diretriz para Avaliação Técnica de telhados constituídos de telhas plásticas
Diretriz SiNAT nº 008 - Diretriz para Avaliação Técnica de Vedações Verticais Internas em Alvenaria não-estrutural de Blocos de Gesso
Diretriz SiNAT nº 009 - Diretriz para Avaliação Técnica de Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamentos em chapas delgadas

Quadro 2 – Listas das diretrizes para avaliação técnica de inovações tecnológicas estabelecidas pelo SINAT, até julho de 2013 (Fonte: http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php).

DATec nº 001-A - Sistema Construtivo Sergus com Fôrmas tipo Banche
DATec nº 002 - Sistema Construtivo SULBRASIL em Paredes de Concreto Armado Moldadas no Local
DATec nº 003-A - Sistema Construtivo VIVER de Paredes Constituídas de Painéis Maciços Pré-moldados de Concreto Armado
DATec nº 004 - Sistema Construtivo TENDA em Paredes de Concreto Armado Moldadas no Local
DATec nº 005 - Sistema construtivo HOBRAZIL de paredes maciças moldadas no local, de concreto leve com polímero e armadura de fibra de vidro protegida com poliéster
DATec nº 006-A - Sistema construtivo TECNOMETTA em Paredes de Concreto Leve armado moldadas no local
DATec nº 007 - Sistema Rossi de painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes
DATec nº 008 - Sistema JET CASA de painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes
DATec nº 009-A - Sistema CASA EXPRESS de painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes
DATec nº 010 - Sistema construtivo BAIRRO NOVO em paredes de concreto armado moldadas no local
DATec nº 011 - Sistema construtivo CARRILHO em paredes de concreto armado moldadas no local
DATec nº 012 - Sistema Construtivo PRECON de painéis de vedação pré-fabricados mistos
DATec nº 013 - Sistema Construtivo DHARMA em paredes Constituídas de Painéis Pré-moldados Mistos de Concreto Armado e Blocos Cerâmicos
DATec nº 014 - Sistema Construtivo a seco SAINT-GOBAIN - Light Steel Frame
DATec nº 015 - Sistema construtivo LP BRASIL OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas de OSB revestidas com siding vinílico
DATec nº 016 - Sistema construtivo LP BRASIL OSB em Light Steel Frame e fechamento em SmartSide Panel

Quadro 3 - Listas dos Documentos de Avaliação Técnica de inovações tecnológicas estabelecidos pelo SINAT, até julho de 2013 (Fonte: http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php).

Todos os sistemas homologados referem-se a estrutura e vedações verticais para a produção de edifícios, sendo que a maioria refere-se a paredes maciças de concreto moldadas no local com fôrmas metálicas, produzidas por diferentes empresas. Outras tecnologias como *drywall* e *steel framing* também foram objeto de avaliação.

O edifício é um produto complexo. São inúmeras partes que o compõem, com muitas possibilidades tecnológicas para cada uma, o que inviabiliza uma abordagem completa. Neste trabalho serão enfocados os principais subsistemas, buscando-se identificar os principais gargalos existentes nas práticas tradicionais e, a partir disso, identificar possíveis inovações que poderão vir a ser implantadas pelas empresas construtoras ou mesmo que poderão ser objeto de desenvolvimento tecnológico.

Para que se pense nas possibilidades tecnológicas, o edifício será dividido em subsistemas identificando-se para eles as principais tecnologias e seu potencial de atender às atuais demandas de produção.

3.2 TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE FUNDAÇÕES

As principais inovações nos sistemas de produção de fundações concentram-se nos seus métodos de cálculo que têm possibilitado menores coeficientes de segurança. Métodos numéricos mais precisos têm permitido a concepção de elementos de fundação mais esbeltos; com menores taxas de armadura. Nos últimos anos, a principal inovação ocorreu em relação às estacas escavadas mecanicamente, particularmente, a estaca tipo Hélice Contínua, que possibilita o emprego de fundações em situação adversas, com alta produtividade e com baixo impacto sobre a mão de obra e o meio ambiente, uma vez que é totalmente mecanizada e não produz vibração no entorno.

A adoção de um ou outro método construtivo de fundação, porém, extrapola a disponibilidade da tecnologia, uma vez que o solo é condicionante fundamental. Trata-se de um subsistema em que atuam empresas com elevado nível de especialização, tanto em projeto como em execução, que, usualmente, capacitam sua mão de obra. Além disso, o percentual de custo das fundações em relação ao edifício é da ordem de 3%, pouco expressivo frente a outras partes do edifício. Assim, não é um subsistema crítico na busca por inovações.

3.3 TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE ESTRUTURAS

A estrutura tem um custo percentual que pode superar os 20%; portanto muito importante no conjunto do edifício. Além disso, faz parte do caminho crítico da produção uma vez que do seu término dependem inúmeros outros serviços. Independente do material que a constitui: concreto armado ou protendido, aço, blocos de concreto ou de cerâmica, a estrutura exige mão de obra altamente capacitada para a sua produção, o que também justifica investimentos em inovações tecnológicas que possam resultar em redução de prazo e custo de produção.

Ainda que não se tenha a pretensão de esgotar o assunto, na sequência serão discutidos as principais tecnologias para a produção da estrutura, incluindo a de concreto armado moldada no local, mais tradicional no país, destacando-se os seus gargalos e buscando novas soluções para sua produção.

a. Estrutura Reticulada de Concreto Armado Moldada no Local - ERCA

A tecnologia mais comumente utilizada para a produção de edifícios de múltiplos pavimentos é a estrutura reticulada de concreto armado moldada no local (ERCA) que se constitui num reticulado de vigas e pilares associado a lajes planas. Os vãos definidos são, posteriormente, fechados com alvenaria de blocos.

A estrutura reticulada de concreto armado (ERCA) pode ser produzida segundo diferentes processos de produção, desde os mais tradicionais - com elevado consumo de materiais e tempo - até os mais racionalizados chegando-se, até mesmo, a algumas formas de industrialização da produção. Esses patamares de desenvolvimento tecnológico estão relacionados não apenas aos insumos utilizados na produção da estrutura – fôrmas, armadura e concreto - como também no sistema de gestão empregado.

Concreto e armadura são os materiais que permanecerão no edifício; a fôrma é um elemento transitório, empregado com a finalidade de proporcionar a forma desejada aos elementos de concreto, suportando o concreto armado até que o concreto ganhe resistência necessária. Os dois primeiros somados representam algo em torno de 50 a 60% do custo da estrutura; a fôrma, por sua vez, ainda que transitória, representa 40 a 50% do custo da estrutura.

A armadura é comercializada por indústrias que atuam no mercado internacional. A atual organização da cadeia produtiva disponibiliza, às construtoras, aço cortado e pré-dobrado, além de telas eletrossoldadas. Tudo isso possibilita elevada produtividade e redução de perdas, além de facilitar a gestão de suprimentos das empresas. Assim, um maior ou menor grau de racionalização está associado às características do projeto estrutural e ao sistema de produção adotado pela empresa. Investir na aquisição de elementos pré-cortados e até pré-montados é o caminho a ser perseguido pelas construtoras. Quanto mais as peças vierem prontas para o canteiro, menos dependente da mão de obra será o sistema de produção.

O concreto, por sua vez, é um material cujo conhecimento não para de evoluir. Concretos tradicionais, com elevado consumo de cimento, vêm dando lugar a concretos de elevada resistência mecânica e consumo de cimento cada vez menor, compensado pelo emprego de aditivos que evoluem constantemente. Além disso, visando à sustentabilidade ambiental, os investimentos estão concentrados no desenvolvimento de cimentos eco eficientes, que possibilitam baixa emissão de gases do efeito estufa (DAMINELLI et al. 2012).

No campo da aplicação do concreto, o emprego de equipamentos de transporte como guindastes e gruas associado aos de lançamento de grande potência (bombas) auxiliam na obtenção de melhores condições de trabalho para o operário, além de alta produtividade. Portanto, melhores condições de trabalho e aumento de produtividade nas atividades de lançamento também estão muito associadas à forma de gestão da empresa. A tecnologia está disponível; apenas precisa ser incorporada no sistema de produção.

O terceiro insumo - fôrma – pode ser considerado como o gargalo da tecnologia de produção de ERCA, por várias razões. Responsável pela maior parcela do custo de produção é também responsável pela produtividade do sistema uma vez que a cada pavimento deve ser montada e desmontada, além configurar a geometria da estrutura que, se inadequada, compromete todos os demais subsistemas, particularmente alvenarias e revestimentos. Assim, com foco na produção de ERCA, existem empresas que subsistem com um quadro tecnológico extremamente tradicional (Figura 6), ao mesmo tempo em que atuam aquelas cujo processo produtivo é altamente racionalizado (Figura 7).



Figura 6 – Sistemas de fôrmas comumente utilizados em processos tradicionais de produção de ERCA (fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros)



Figura 7 – Sistemas de fôrmas racionalizadas disponíveis no mercado nacional para produção de ERCA (fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros)

Nos processos tradicionais, a forma tem sido entendida como um insumo que se extingue a cada empreendimento. Ou seja, ao final, moldes e escoramento tornam-se resíduo de construção ou são comercializados para queima em outros segmentos produtivos (padarias, pizzarias). Na produção racionalizada, por sua vez, a fôrma é vista como um equipamento que precisa ser preservado ao longo da produção e que pode, com as devidas manutenções, servir a outros empreendimentos. Para isto, faz-se necessário o uso de componentes modulares e não componentes dedicados a cada empreendimento. Por isto, acredita-se que os conceitos de modularidade, hoje ainda distantes dos projetos dos empreendimentos, sejam o gargalo para que se possa conseguir chegar próximo dos sistemas mais industrializados de produção de estrutura. Sem modulação, dificilmente um sistema de fôrma servirá de um empreendimento a

outro e não se poderá evoluir quanto aos sistemas mais racionalizados que preveem coordenação modular.

Por ser conformado em obra e por haver expressivas modificações de um empreendimento a outro, é baixo o ganho de produtividade na produção de ERCA, mesmo com elevados níveis de racionalização; por isso, a demanda por produção em larga escala e em curto tempo exigiu a busca por outros sistemas, comentados na sequência.

b. Estrutura e Vedo Vertical de Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural, como anteriormente salientado, é produzida no Brasil desde a década de 1970 e, por não implicar em investimentos elevados em equipamentos e poder ser produzida em qualquer escala, tem sido largamente utilizada no país desde então, seja para a produção de grandes conjuntos habitacionais, como foi no passado, seja para a produção em pequena escala como ocorreu durante toda a década de 1990.

Atualmente, a alvenaria estrutural apresenta uma grande versatilidade: no Brasil, há edifícios em alvenaria estrutural não armada de até 13 pavimentos e de alvenaria estrutural armada com 24 pavimentos, de padrões elevados e com flexibilidade de plantas – por exemplo, mesclando paredes estruturais com paredes de vedação, o que possibilita modificações e personalizações (NAKAMURA, 2009) (**Figura 8**).



Figura 8 - Edifícios residenciais em alvenaria estrutural (a) padrão econômico; (b) *médio padrão*, em (Fonte: PCC 2535, 2009)

A alvenaria estrutural tem grande potencial de racionalização construtiva quando comparada à estrutura reticulada de concreto armado com alvenaria de vedação. Ao executar simultaneamente a vedação, a estrutura e, por exigência do comportamento estrutural das paredes, também parte dos sistemas prediais, reduz-se o número de

etapas no caminho crítico, bem como o prazo global de execução da obra. Além disso, grande parte das interferências existentes é detalhada e resolvida na fase de projeto. Isto diminui as decisões a serem tomadas em canteiro, além de possibilitar ganho de produtividade.

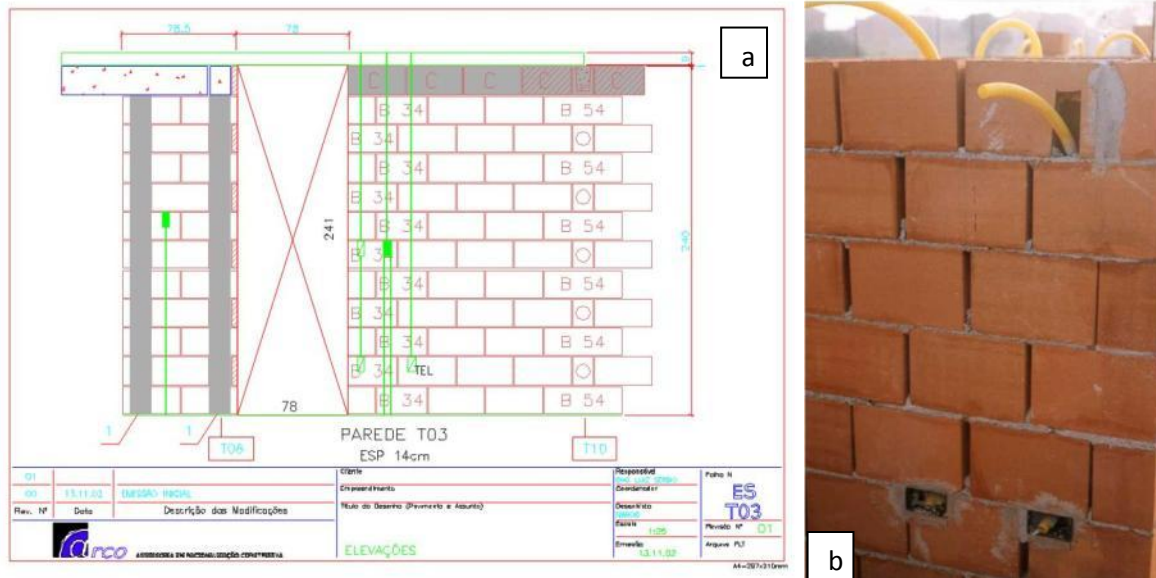


Figura 9 – (a) Projeto de alvenaria estrutural com a previsão das interferências dos sistemas prediais e componentes especiais (b) Parede de alvenaria estrutural executada com prévia instalação de eletrodutos (Fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros).

Outra grande vantagem deste sistema construtivo é a qualidade dos blocos estruturais, normalmente superior à dos blocos de vedação. Com a maior uniformidade dos componentes, há a possibilidade de redução da espessura do revestimento⁶, contribuindo novamente para a racionalização construtiva.



Figura 10 – Revestimentos de pequena espessura aplicados diretamente sobre alvenaria estrutural de blocos de concreto ou cerâmicos (fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros).

Para que todas as vantagens potenciais da alvenaria estrutural se traduzam em benefícios para um empreendimento, é necessária a correta concepção dos projetos, definindo-se as dimensões de acordo com a modulação dos blocos; compatibilização entre os subsistemas; elaboração de projetos para produção, entre outros aspectos. Além disso, são necessários: materiais de adequada qualidade, mão de obra bem treinada e supervisionada, e um adequado planejamento e organização da obra.

Trata-se de um tema que foi objeto do Relatório SENAI-EPUSP de Difusão Tecnológica da TEE de Alvenaria Estrutural, elaborado em 2009, em que o sistema foi completamente caracterizado e destacados os elementos facilitadores e limitadores do processo de transferência da tecnologia para o mercado (SENAI, 2009).

Ainda que decorridos alguns anos da proposta daquele documento, as barreiras a serem vencidas ainda se encontram presentes na maioria dos estados brasileiros e, por isto, devem ser aqui registradas uma vez mais, porquanto poderão servir de subsídios para a definição de políticas de inovação:

- ausência de produtores de blocos de qualidade
- elevados custos associados ao transporte dos blocos
- desorganização da produção da argamassa de assentamento e graute;
- falta de políticas de qualificação de projetistas e de mão de obra de produção; e
- gestão ineficiente.

Esses aspectos são relevantes porque muitas empresas não conseguem obter as vantagens da alvenaria estrutural - reduções de custo compensadoras e aumento da produtividade global - porque continuam adotando uma gestão artesanal, onde as tomadas de decisão são realizadas por quem executa a obra e não na fase de projeto; não há o investimento nos projetos voltados à produção; são produzidos sempre projetos conceituais que não antecipam as tomadas de decisão; a mão de obra não é devidamente treinada. Portanto, desenvolver sistemas de gestão empresarial que vise à industrialização da produção é um dos desafios para a cadeia produtiva.

Tendo em vista as limitações conhecidas da alvenaria estrutural e por não estarem preparados para a sua utilização, muitas empresas buscaram outros sistemas construtivos que pudessem ajudá-las a vencer os desafios. Um desses sistemas são as paredes maciças de concreto moldadas no local com uso de fôrmas metálicas, abordados na sequência.

c. Estrutura e vedo vertical com paredes maciças de concreto moldadas no local

As paredes maciças de concreto moldadas no local não são inovações no sentido estrito da palavra, uma vez que foi largamente utilizada na década de 1970 nos grandes conjuntos habitacionais construídos por todo o país (Figura 2). Entretanto, considerando-se que, para a empresa construtora o termo inovação está relacionado ao primeiro uso da tecnologia no seu sistema produtivo, pode-se considerar que seja uma inovação para o atual estágio tecnológico.

Essa filosofia – novo uso na empresa – é que tem balizado o SINAT que aprova não a tecnologia de paredes maciças de concreto moldadas no local, mas sim, o sistema de produção da empresa que utiliza a tecnologia construtiva, tendo gerado até aqui os onze DATEC's antes mencionados.

Além disso, o intenso uso dessa tecnologia pelo mercado fez com que a cadeia produtiva do cimento organizasse uma norma específica que está em processo de discussão.

O número de variáveis desse método construtivo é grande. As fôrmas podem ser de diferentes tipos. As mais comuns são as metálicas – aço ou alumínio (Figura 11); porém podem ser mistas com estrutura de aço e painéis de madeira (Figura 12), por exemplo; ambas com grande número de reaproveitamento, o que implica na necessidade de modularidade dos edifícios.

As fôrmas também podem ser de P.V.C. as quais ficam incorporadas à parede, constituindo o acabamento. Esse sistema, porém, tem tido uso restrito e, apesar de existir uma Diretriz Sinat para a sua avaliação (Diretriz SiNAT nº 004), não se dispõe de nenhum DATEC para este subsistema.



Figura 11 – Sistema Construtivo de paredes maciças de concreto com uso de fôrmas metálicas (fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros).



Figura 12 – Sistema Construtivo de paredes maciças de concreto com uso de fôrmas mistas (fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros).

Além de inúmeras variações nos sistemas de fôrmas, que afetam fortemente todo o processo de produção, há outras variáveis importantes no sistema que ainda não estão equacionadas e devem ser objeto de desenvolvimento.

O concreto a ser utilizado deve ser do tipo auto adensável para que possa preencher toda a altura da fôrma. Trata-se de um material de custo mais elevado do que o tradicional e, por vezes, as empresas relutam em sua utilização gerando diversos problemas de acabamento das paredes (Figura 13).

Neste sistema, o curto prazo demandado na produção das paredes (montagem das fôrmas e concretagem) acaba se perdendo na necessidade de acabamentos superficiais posteriores, além da ausência de compatibilização dos diversos subsistemas como, por exemplo, esquadrias de janelas e portas e revestimentos. Os sistemas prediais também carecem de adequado desenvolvimento, uma vez que a maioria fica completamente embutida nas paredes maciças, dificultando qualquer ação de manutenção posteriormente.



Figura 13 – Sequencia de execução de casas com paredes maciças moldadas no local com fôrmas metálicas e resultado após a desenforma: necessidade de desenvolvimento de concretos com características reológicas adequadas às condições de lançamento e espessura das paredes (fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros).



Figura 14 – Sistema de paredes maciças com embutimento de sistemas hidráulicos, sem a possibilidade de manutenção futura (fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros).

Trata-se, pois, de um sistema que tem grande potencial de utilização e de responder às demandas de produtividade e baixo custo; entretanto, exige sério desenvolvimento tecnológico para que todas as suas variáveis sejam equacionadas. Nem só de paredes é feita a habitação.

A tecnologia de paredes maciças tem, ainda, uma derivação em relação ao processo de produção. Há empresas que, tal como no passado, estão pré-fabricando os painéis de vedação vertical e lajes. Esse sistema é analisado brevemente na sequência.

d. Estrutura e vedo vertical com paredes pré-fabricadas

São muitas as tecnologias de paredes pré-fabricadas em utilização no mercado. Há pré-fabricados de concreto; há pré-fabricados mistos (nervuras de concreto com enchimento de blocos).

Em relação aos pré-fabricados de concreto (paredes maciças), na década de 1970, um dos sistemas de destaque foi o denominado “sistema PAC”, que permaneceu no mercado por longos anos, tendo sido aos poucos modificado e aprimorado por um de seus criadores, o arquiteto Antonio Pedreira de Freitas (Figura 15a).

Atualmente essa tecnologia tem sido a mais empregada pelas empresas. Parte da produção em fábrica, localizada usualmente junto ao canteiro, de painéis de parede e de lajes. As paredes são, geralmente, moldadas em pé (bateria de fôrmas) e as lajes são moldadas na horizontal.



Figura 15 – Sistemas pré-fabricados utilizados para a produção de edifícios habitacionais (a) Sistema PAC utilizado em Aracajú; (b) Sistema empregado na cidade de São Paulo, pela empresa Inpar (Datec 03)(fonte: arquivo Mercia Bottura de Barros).

Além disso, há, ainda, a tecnologia de painéis produzidos com nervuras de concreto e outros materiais de preenchimento, sendo bastante comuns blocos cerâmicos, dada à sua leveza (Figura 16).

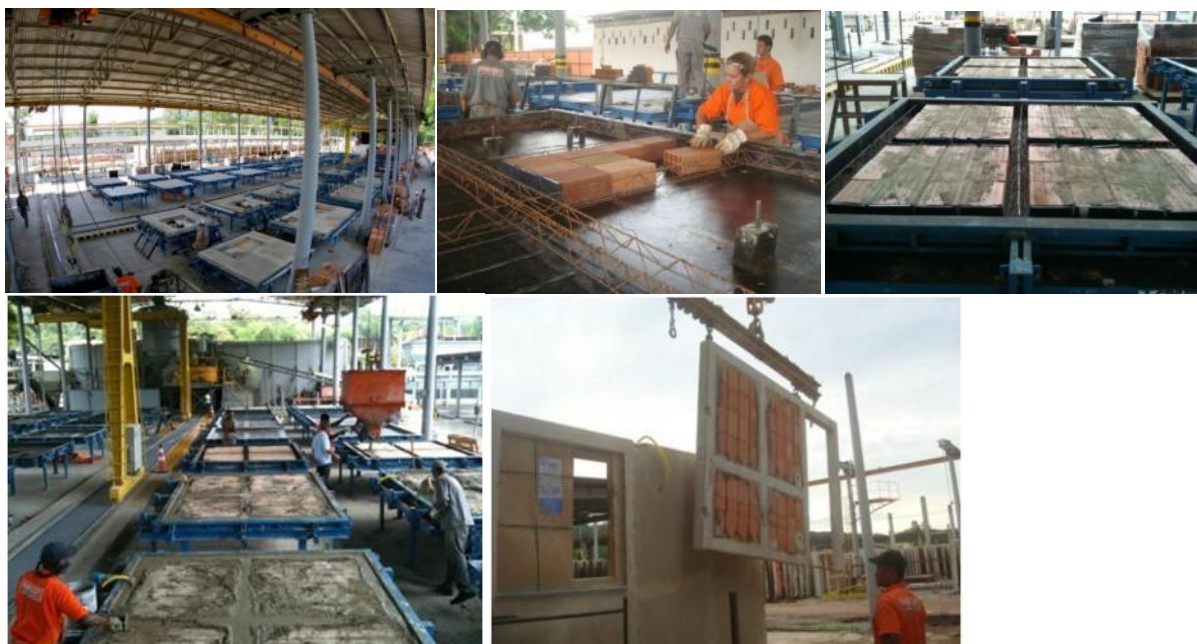


Figura 16 – Painéis pré-fabricados com nervuras de concreto e preenchimento de blocos cerâmicos (Fonte: Datec 012, disponível em http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php)

Seja qual for a tecnologia de painéis pré-fabricados, um ponto fraco são as juntas entre componentes. Nem todos os sistemas disponíveis no mercado têm um adequado desenvolvimento de juntas. O uso de selantes (Figura 17), por exemplo, além de implicar em expressivo custo inicial, leva à necessidade de manutenções periódicas visando à sua troca. Um adequado desenvolvimento deste elemento do sistema ainda deve ser feito.

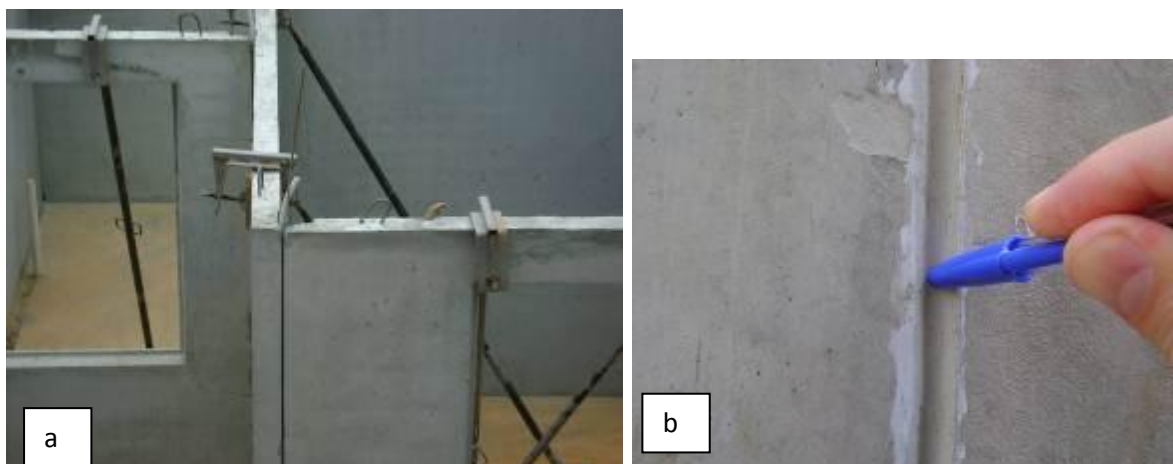


Figura 17 – Juntas entre componentes de painéis pré-fabricados de concreto armado do Sistema Rossi – DATEC 007. Encontro de topo entre dois painéis (a), solucionado com o uso de selante (b).

A relação dos painéis pré-fabricados com os demais subsistemas também apresentam as mesmas dificuldades em relação aos painéis moldados no local. É fundamental que ocorra integração com esquadrias, sistemas prediais e revestimentos.

e. Estrutura de aço e vedo vertical com painéis

O sistema envolvendo estrutura metálica e diversos tipos de painéis de fechamento tem uso limitado no mercado. Pode ser dividido em duas tecnologias diferentes. Uma que utiliza perfis pesados para a produção da estrutura, presente nos canteiros experimentais décadas atrás, particularmente no canteiro Heliópolis (sistemas 2 e 4, Figura 2). Outra, constituída de uma estrutura de perfis leves, denominada “*Light steel framing*”, introduzida mais recentemente no país.

A primeira dispõe de norma técnica para o dimensionamento estrutural; entretanto, não há estudos sobre a interface estrutura-vedação e tampouco o desenvolvimento de componentes de fechamento e de juntas adequados às características e ao ritmo de produção da estrutura (Figura 18). Investimentos em desenvolvimento do sistema devem ser feitos, uma vez que apresenta grande potencial de produtividade.



Figura 18 - Fissuras generalizadas na vedação e infiltração no encontro alvenaria estrutura (Fonte: Fotos cedidas por Eng. Fernanda Belizario Silva, junho/2009).

Para o “*Light steel framing*”, até o momento não existem normas técnicas que o abordem; por isso, o caminho para a disseminação da inovação no país foi o SINAT. Assim, há uma diretriz para avaliação dos sistemas Diretriz SiNAT nº 003 (Quadro 2) que possibilita as empresas que constroem com essa tecnologia, solicitar a emissão de um DATEC, a partir de prévia avaliação de todo o seu sistema de produção. Os DATEC’s 14, 15 e 16 são exemplos dos sistemas que estão no mercado (Figura 19), mas restringem o uso do sistema a casas térreas, ainda que haja potencial de uso para edifícios de até quatro pavimentos (já construídos no país).

Tal como os pré-fabricados de concreto e misto (concreto e alvenaria), neste caso também as juntas entre painéis de fechamento externo e a interface com outros subsistemas, particularmente esquadrias e revestimentos exteriores, são os gargalos da tecnologia e merecem ser mais bem desenvolvidos.

No DATEC 014 (Quadro 3), propõe-se que o tratamento das juntas entre placas, na região do rebaixo, seja feito com “aplicação de primer; introdução de cordão de polietileno expandido; aplicação de massa para juntas, à base de resina acrílica com fibras de polipropileno; telas de fibras de vidro álcali-resistentes com 52 mm e 102 mm de largura, posicionadas em níveis diferentes do rebaixo, e massa específica para o acabamento da superfície das juntas e das placas cimentícias.



Figura 19 – Sistema Light steel framing para a produção de habitação para uso em casas térreas.

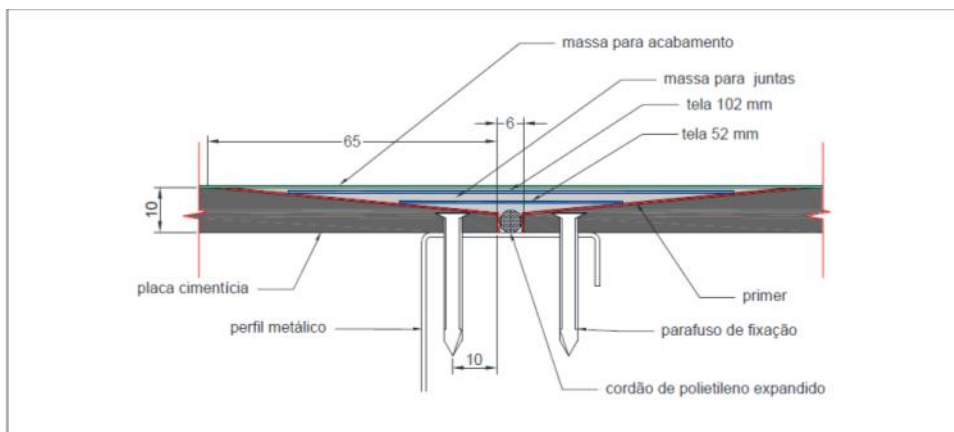


Figura 20 – Detalhe de juntas entre painéis de fechamento externo no Sistema Light steel framing proposto no DATEC 014 (Fonte: http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php).

Nesse mesmo documento, em seu item “limites da avaliação técnica” há a ressalva: “o comportamento das juntas entre chapas de fechamento externo (chapas cimentícias) deve ser objeto de monitoramento constante pela detentora da tecnologia, informando periodicamente a ITA e o SINAT sobre eventuais ocorrências e providências”, o que demonstra claramente a necessidade de estudos mais sistêmicos sobre esse sistema.

Há outros sistemas que utilizam vedação externa com placas de madeira do tipo “OSB” com revestimento de PVC (DATEC 015, Quadro 3). Nesse sistema o problema das juntas entre painéis é minimizado, restando equacionar mais adequadamente a interface com as esquadrias.

3.4 TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE VEDOS VERTICAIS COM PAINÉIS LEVES

Os vedos verticais têm sido alvo de poucas inovações. A última grande inovação foram os painéis de gesso acartonado (drywall), hoje devidamente normalizados e com uso crescente no país, ainda que pese a cultura das paredes com blocos de concreto ou cerâmicos.

Sobre essa tecnologia, em 2009 foi elaborado um documento para o SENAI: Relatório SENAI-EPUSP de Difusão Tecnológica da TEE de Sistema de paredes de drywall onde as características do sistema foram apresentadas, assim como os principais desafios a serem vencidos. Alguns deles foram superados; outros ainda carecem de pesquisa e desenvolvimento e, por isso são aqui registrados.

- Falta de integração com sistemas de vedação externa – como visto nos sistemas Light steel framing antes abordados, a integração do drywall interno com o vedado exterior ainda se constitui num grande desafio.
- Deficiente interação com sistemas prediais, esquadrias e revestimentos e dependência da fabricação e comercialização, no Brasil, de complementos e acessórios (ferramentas, sistemas de fixação, dentre outros).
- Dificuldade de formação de profissionais capacitados a utilizar a tecnologia
- Dependência de mudanças na qualidade do processo de produção dos demais subsistemas (interação com estrutura, por exemplo)
- Dependência de mudanças organizacionais nos processos de concepção e gestão de empreendimentos (ausência de coordenação modular, por exemplo, leva a muitos desperdícios).
- Comercialização de sistemas de produto e não de soluções construtivas (são comercializados placas, perfis e componentes e não a execução que fica ao encargo de terceiros, nem sempre adequadamente formados). Investimentos devem ser feitos na formação de empresas montadoras responsáveis pelos seus produtos (paredes prontas).

Os sistemas abordados até aqui envolvem grandes partes do edifício: estrutura e vedos verticais. Há, ainda, diversas inovações tecnológicas que visam à produção do edifícios com vistas à sustentabilidade. Os sistemas prediais de água e energia, em particular, têm sido alvo constante de melhorias visando ao menor consumo desses recursos que impactam ao longo de toda a vida útil do edifício. Dentre as muitas inovações destacam-se:

- medição individual do consumo de água em edifícios multiusuários
- reaproveitamento de águas servidas
- equipamentos elétricos mais eficientes

- vidro com baixa transmitância térmica
- brises e elementos para sombreamento da fachada
- cobertura com proteção térmica
- sistema de condicionamento de ar mais eficiente
- coletores solares para aquecimento de água
- sistemas automatizados de persianas
- equipamentos de baixo nível de ruídos
- telhas com isolante termoacústico
- portas acústicas em zonas ruidosas
- vedações duplas de proteção a zonas ruidosas

As esquadrias também estão se modificando dadas às exigências de desempenho estabelecidas pela ABNT NBR 15575/2013, assim como os revestimentos, sejam verticais ou horizontais.

É preciso que as fachadas dos edifícios sejam repensadas. A atual tecnologia em que são produzidos vedos de alvenaria ou paredes maciças que depois carecem de revestimentos aderidos de argamassa propiciarão a produtividade que se demanda para um alto nível de produção. A exemplo do que ocorre com os vedos internos, também externamente é possível obter-se tecnologias mais leves e com revestimento incorporado que sejam posicionadas na fachada, sem a exigência de revestimentos aderidos. Isso tudo tem de ser alvo de desenvolvimento nos próximos anos.

Práticas inovadoras de gestão de projeto também têm sido adotadas. Hoje é mais em frequente a figura do coordenador; além disso, novas ferramentas estão disponíveis, como é o caso do Building Information Modeling – BIM, um software de apoio ao projeto e planejamento que carece de desenvolvimento e disseminação junto aos projetistas e construtores.

Os edifícios são mais bem estudados quanto aos seus impactos no entorno, ao conforto e à segurança nos espaços exteriores. Novas disciplinas de projeto são realizadas por profissionais competentes (cálculos de consumo energético, estudos térmicos de fachadas, estudos de iluminação natural, de acesso a luz do dia e vistas, de setorização de circuitos de iluminação, projeto de acústica, de ventilação e renovação do ar, etc.). A fixação desse novo modelo de projeto, porém, depende também de organização setorial. Elementos e componentes, assim como o projeto do edifício precisam estar inseridos em uma mesma malha modular.

Novas práticas gerenciais, inclusive nos canteiros de obras, consolidam-se, como de exigência de conformidade de produtos, legalidade na origem de produtos (madeira, areia e brita), legalidade trabalhista na cadeia de fornecedores; reaproveitamento dos resíduos; previsão de locais para lavagem de ferramentas e equipamentos e veículos; estudo para limitações dos incômodos sonoros e os devidos à circulação de veículos; dentre outras.

O que se espera é que essas inovações sejam devidamente acompanhadas do correto desenvolvimento tecnológico – estudos, ensaios, avaliações de desempenho, avaliações pós-ocupação – e que seus sucessos e insucessos sejam corretamente registrados e disseminados, para que inicie uma espiral virtuosa de desenvolvimento para o setor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, novas tecnologias aparecem em grande quantidade no meio técnico, sobretudo porque, com a crise europeia, muitos fornecedores de lá vislumbraram o Brasil como o local ideal para desviar a sua atenção. Todos os dias algum fabricante estrangeiro oferece sua tecnologia aos empresários brasileiros. Como saber se são adequadas à sua cultura? As inovações não são facilmente incorporadas ao sistema produtivo das empresas construtoras. Exigem desenvolvimentos internos que por vezes são feitos por equipes de P&D internas à empresa em parceria com os próprios fornecedores ou com apoio da academia; outras vezes inexistem. Investir em capacitação profissional para que se possa ter pessoas capacitadas a realizar P&D dentro das empresas é um dos desafios a serem enfrentados ainda nesta década, para que se possa evoluir tecnologicamente; caso contrário, as empresas e empreendimentos se constituirão em verdadeiros laboratórios para as muitas invenções que aparecem todos os dias.

Além disso, ao longo deste trabalho, outros desafios forma sendo identificados, os quais são aqui resgatados:

- **Mudança de comportamento empresarial:** é preciso ter um pensamento de produção industrial – não é necessário que o produto edifício seja sempre igual, repetitivo; é preciso que os processos para a sua produção o sejam. A padronização e os cuidados com o processo de produção devem se sobrepor à padronização de produtos. Desenvolver sistemas de gestão empresarial que vise à industrialização da produção é um dos desafios para a cadeia produtiva

- **Desenvolvimento de memória tecnológica:** para que erros do passado não voltem a se repetir; é preciso aprender constantemente e evoluir no conhecimento. Investir na capacitação dos recursos humanos para que dominem o processo de produção do edifício é fundamental
- **Valorização do trabalho na indústria da construção:** valorização da capacitação dos recursos humanos em todos os níveis. A certificação das capacidades auxiliará na garantia da qualidade do trabalho e na valorização profissional. Capacitação e certificação profissional deve ser a mola propulsora do desenvolvimento daqueles que atuam na construção
- **A coordenação modular precisa sair do papel (normas técnicas) e passar a existir nos projetos desde a sua concepção:** a ausência de coordenação modular dificulta a intercambiabilidade de componentes; resulta em maiores perdas de componentes, sobretudo aqueles de grandes dimensões; diminuem a produtividade, dentre outros malefícios. Um edifício coordenado modularmente (vide alvenaria estrutural) somente traz vantagens ao empreendedor e fornecedores (materiais, componentes e mão de obra). Todos ganham.
- **Os sistemas construtivos precisam ser desenvolvidos como um todo,** particularmente as interfaces entre diferentes subsistemas; não se pode apenas desenvolver os vedos e não pensar no fácil acoplamento das esquadrias e dos sistemas prediais, na rápida execução dos revestimentos e no desempenho do conjunto, incluindo, as exigências de manutenibilidade ao longo da sua vida útil.
- **Desenvolvimento de políticas para qualificação de projetistas:** a fase de concepção do empreendimento define o seu potencial de racionalização e industrialização;
- **Desenvolvimento de políticas para qualificação de mão de obra gerencial e de produção:** o melhor projeto pode se tornar o pior empreendimento se não for bem gerido e construído. É preciso que haja comprometimento, engajamento e isso somente é possível com valorização profissional;
- **Desenvolvimento tecnológico completo de sistemas com elevado potencial de industrialização:** foco nas juntas entre elementos pré-fabricados (pesados ou leves); revestimentos de fácil acoplamento às superfícies a serem revestidas; sistemas leves de fachada de edifícios, dentre outros.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575 - Desempenho de Edifícios partes 1 a 6*. Rio de Janeiro(Rio de Janeiro): Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, 2013.

BARROS, M. M. S. B. *Metodologia para implantação de tecnologia construtiva racionalizada na produção de edifícios*. 1996. 422p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BARROS, M. M. S. B.; CARDOSO, F. F. Inovação: espiral ou carrossel do conhecimento?. *Conjuntura da Construção*, São Paulo, p. 10 - 11, 01 jun. 2011.

BRASIL, 2012. <http://www.pac.gov.br>. [Online]. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac>. [Acesso em 20/01/2013].

CARRASCO, A. O. T. *Desenvolvimento Tecnológico e Políticas Habitacionais*. Revista de Estudos sobre Urbanização, Arquitetura e Preservação – Caderno de Pesquisa do LAP. São Paulo: FAU-USP, 2000.

CASTRO, Carolina M.P. de. **Papel da tecnologia na produção de habitação popular - estudo de caso: C.H. José Bonifácio**. São Paulo, 1986. 473p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Centro de Tecnologia de Edificações (CTE) – **Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras**. SEBRAE/SINDUSCON. São Paulo, 1994.

Damineli, B. L. & John, V. M. Developing Low CO 2 concretes: Is clinker replacement sufficient? The need of cement use efficiency improvement. **Engineering Materials**, Volume 517, pp. p. 342-251. 2012.

DE LUCCA, R. Com Gesso: uma casa em 20 dias. **Construção**, São Paulo, n.1366, p.14-16, abr. 1974.

FARAH, Marta Ferreira Santos. Diagnóstico tecnológico da indústria da construção civil: caracterização geral do setor. **Tecnologia de edificações**, v. 5, n.119, p.111-6, ago. 1988.

FARAH, Marta Ferreira Santos. **Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional**. São Paulo, 1992. 297p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Desenvolvimento da indústria da construção em Minas Gerais: impacto na evolução tecnológica e na qualificação da força de trabalho**. Belo Horizonte, Centro de Estudos Econômicos, 1992. 375p.

Holanda, E.P.T. de. **Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão de obra**. São Paulo, 2003. 159p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Programa de atualização tecnológica industrial (PATI): construção habitacional**. São Paulo, IPT/ Divisão de Economia e Engenharia de Sistemas/Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico. 1988. 85p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Quality: vocabulary - ISO-8401**. Berna, 1986.

NAKAMURA, J. A redescoberta da alvenaria estrutural. **Téchne**, São Paulo, n. 75. Disponível em: < <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/75/artigo32559-1.asp>>. Acesso em: 18 mar. 2009.

ORLANDI, S. A. F.; CORRÊA, L. C. A. A industrialização da construção e o problema habitacional brasileiro: conceituação e a experiência do “Projeto Modelar”. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 4., 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1987. p. 01- 08.

PCC 2515 – ALVENARIA ESTRUTURAL. São Paulo. Sítio da disciplina de alvenaria estrutural do curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: < <http://pcc2515.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2009.

PICCHI, Flávio A. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. São Paulo, 1993. 462p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Serviço Nacional da Indústria (SENAI). **Ações de difusão tecnológica**. Estudos técnicos. Setor de construção civil: Segmento de Edificações. Tecnologias Emergentes Específicas. Senai, 2009

SILVA, F. B.; KATO, C. S.; SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B. Sistemas construtivos industrializados para a construção habitacional: análise do canteiro experimental de Heliópolis. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - **Anais**, 2010.

SILVA, F. B. ; BARROS, M. M. S. B. . Process planning for industrialized construction: lessons from the manufacturing industry. In: 7th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering & Construction, 2012, São Paulo. **Proceedings** of the 7th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering & Construction, 2012.

TELLES, Pedro C. da Silva. **História da engenharia no Brasil**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1984. v.1.

VARGAS, Nilton. Construção habitacional: um artesanato de luxo. **Revista Brasileira de Tecnologia**, v. 12, n.1, p.27-32, Jan./Mar. 1981.

VARGAS, Nilton. Tendências de mudança na indústria da construção. **Obra**, n.44, p.25-9, Fev. 1993.

VARGAS, Milton. **Para uma filosofia da tecnologia**. São Paulo, Alfa-Ômega. 1994. p.171-286.

MCidades. *Ministério das Cidades*. [Online]

Disponível em: http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php. acesso em 21/01/2013

[Acesso em 21 01 2013], 2013.