Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção
Curso de Especialização em Construção Civil

Monografia

INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO ARMADO

Autora: Marina Drummond De Marco
Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
Janeiro/2015

Marina Drummond De Marco

INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL
PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO ARMADO

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
Ênfase: Industrialização na construção civil.

Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2015

Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram em seu desenvolvimento. Um agradecimento especial à equipe da Falco Construções pela disponibilidade e colaboração.

RESUMO

Os processos de industrialização atingiram os mais diversos setores sociais no final do século XVIII, entre eles o da construção civil. A evolução da indústria da construção civil aconteceu em diversas etapas, cada qual caracterizada por seus materiais, métodos e tecnologias. Os sistemas pré-fabricados em concreto armado estão dentre as mais utilizadas tecnologias industrializadas do setor no Brasil, por isso a intenção de investigá-los mais a fundo. Através da revisão bibliográfica de títulos relacionados ao assunto e de um estudo de caso envolvendo a utilização de elementos pré-fabricados de concreto é possível identificar a evolução do sistema, bem como as vantagens da sua utilização.

Palavras-chave ; industrialização, sistemas construtivos, pré-fabricados em concreto, laminados de concreto envelopado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vii
LISTA DE TABELAS ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS x
1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVO 2
3. METODOLOGIA 3
4. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL ... 4
4.1 Introdução 4
4.2 Os novos materiais e a pré-fabricação de componentes 5
4.3 O sistema como solução tecnológica para a construção civil 6
5. SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADOS 8
5.1 Industrialização de ciclo fechado 8
5.2 Industrialização de ciclo aberto 9
5.3 Modulação e coordenação modular 11
5.4 Condicionantes do sistema 12
5.4.1 Organização 12
5.4.2 Racionalização 12
5.4.3 Produção em série 12
5.4.4 Produtividade 13
5.4.5 Integração 13
6. DA ADOÇÃO DE UM SISTEMA INDUSTRIALIZADO 14
7. O SISTEMA PRÉ-FABRICADO EM CONCRETO ARMADO 17
7.1 Conceitos e definições 17
7.2 Produção dos elementos pré-fabricados 18
7.2.1 *Fabricação* 18
7.2.2 *Manuseio, Armazenamento e Transporte* 20
7.2.3 *Montagem* 20
7.2.4 *Controle de Qualidade* 21
7.3 Elementos pré-fabricados em concreto armado 21
7.3.1 *Componentes de fundação e contenção* 22

7.3.2 *Componentes estruturais* 23
7.3.3 *Componentes de vedação* 24
7.3.4 *Componentes complementares* 25
8. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL 27
8.1 A utilização dos pré-moldados em concreto 27
8.2 Cultura da construção do Brasil 29
9. ESTUDO DE CASO 32
9.1 Método Construtivo 32
9.2 Especificação dos componentes 33
9.3 Processo de Fabricação 34
9.3.1 *Modelagem ou envelopamento* 34
9.3.2 *Instalações* 35
9.3.3 *Concretagem* 35
9.3.4 *Desforma* 36
9.3.5 *Revestimentos* 36
9.3.6 *Acessórios* 37
9.3.7 *Controle de Qualidade* 37
9.3.8 *Identificação* 37
9.3.9 *Carga e transporte* 37
9.4 Processo de montagem 38
10. RESULTADOS 43
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS 47
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 48

LISTA DE FIGURAS

Figuras 01 – O Palácio De Cristal em Londres, Inglaterra. Projeto em ferro e vidro do arquiteto Sir Joseph Paxton, construído para abrigar a Grande Exposição de 1851 05
Figuras 02 – O Palácio De Cristal em Londres, Inglaterra. Projeto em ferro e vidro do arquiteto Sir Joseph Paxton, construído para abrigar a Grande Exposição de 1851 05
Figura 03 – Nikita Chruschtschow e Walter Ulbricht inspecionam sistemas construtivos em 1957 06
Figura 04 – Sistema industrial fechado 08
Figura 05 – Sistema industrial aberto 09
Figura 06 – Canteiro de obra com utilização de elementos pré-fabricados: limpeza e organização que proporcionam melhorias na logística e na produtividade da obra 16
Figura 07 – Cravação de estacas pré-fabricadas em concreto..... 22
Figura 08 – Painéis treliçados em concreto pré-fabricado 23
Figura 09 – Montagem de cortina de contenção em painéis pré-fabricados de concreto 23
Figura 10 – Esquema de obra em pré-fabricados de concreto utilizando pilares, vigas, laje alveolar e blocos de concreto para vedação 24
Figura 11 – Vedações em pré-fabricados de concreto. Representação gráfica de um painel alveolar 25
Figura 12 – Vedações em pré-fabricados de concreto. Esquema ilustrativo de parede dupla de concreto 25
Figura 13 – Esquema ilustrativo de escada em concreto pré-fabricado. Representação de uma escada em peça única, apoiada sobra a viga. 26
Figura 14 – Esquema ilustrativo de escada em concreto pré-fabricado. Escada pré-fabricada em peças independentes que devem ser montadas no local da obra. 26

Figura 15 – Fabricação das peças de concreto dos galpões Mauá 27
Figura 16 – Hospital Sarah Kubitschek, Brasília. Projeto de João Filgueiras Lima em pré-fabricados de concreto armado 29
Figura 17 – Composição de um Laminado de Concreto Envelopado 34
Figura 18 – Moldura e armação do Painel LCE 34
Figura 19 – Instalações 35
Figura 20 – Gabaritos 35
Figura 21 – Concretagem do Painel LCE 36
Figura 22 – Detalhe de uma alça para painéis de LCE 37
Figura 23 – Planta baixa com especificação dos painéis 38
Figura 24 – Concretagem do radier 40
Figura 25 – Montagem das placas 41
Figura 26 – Montagem da cobertura metálica 41
Figura 27 – Obra concluída 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificação dos painéis laminados em concreto envelopado usados na obra do Vestiário das Contratadas de VGR 39
Tabela 2 – Comparativo dos principais ganhos obtidos entre os sistemas construtivos de Alvenaria Convencional e Laminados de Concreto 43
Tabela 3 – Estudo comparativo de custos entre os sistemas construtivos de Alvenaria Convencional e Laminados de Concreto Envelopado em uma edificação residencial de 52 m².....44
Tabela 4 – Estudo comparativo de custos entre os sistemas construtivos de Alvenaria Convencional e Laminados de Concreto Envelopado em uma edificação residencial de 520 m²..... .45

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

ABCIC = Associação Brasileira da construção industrializada de Concreto

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

BNH = Banco Nacional de Habitação

LCE = Laminados de Concreto Envelopado

IPT = Instituto de Pesquisas tecnológicas

NBR = Norma Brasileira Regulamentadora

1. INTRODUÇÃO

Os processos de industrialização atingiram os mais diversos setores no final do século XVIII, entre eles o da construção civil. A evolução da indústria da construção civil aconteceu em diversas etapas, cada qual caracterizada por seus materiais, métodos e tecnologias. Os sistemas pré-fabricados em concreto armado, objeto de estudo dessa pesquisa, estão dentre as mais utilizadas tecnologias industrializadas do setor no Brasil, por isso a intenção de investigá-los mais a fundo. Para tanto, é necessário compreender o surgimento, a história e a evolução da industrialização no mundo.

Atualmente, nota-se que grande parte dos clientes que buscam os sistemas de pré-fabricados, são aqueles que constroem residências unifamiliares em conjuntos habitacionais de interesse social. Isso porque o sistema construtivo convencional, além demandar prazos maiores, está sujeito a ineficiências de toda ordem (desperdício de materiais e homem-hora, atrasos, alto custo, etc.) A procura por novas tecnologias então, deve ser cada vez mais estimulada, buscando sempre a redução dos custos finais através da racionalização dos materiais e das técnicas construtivas.

É importante ressaltar também a necessidade da integração de todas as partes envolvidas para o sucesso de qualquer sistema a ser utilizado. Segundo Bruna (1976), o desenvolvimento dos automatismos industriais não está ligado apenas aos processos de fabricação, mas também aos processos de transporte, montagem, aos métodos de inspeção e controle, à criação de novos materiais e ao controle das conseqüências desses processos ao meio ambiente.

O acompanhamento de um estudo de caso envolvendo a utilização de elementos pré-fabricados de concreto armado permitirá uma análise mais profunda do sistema, desde o seu processo de fabricação até sua montagem e entrega da obra.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é discorrer sobre o processo de industrialização da construção, investigando sua evolução ao longo da história até sua utilização nos dias de hoje. Procura-se compreender os tipos de sistemas industrializados (ciclos abertos e fechados) na intenção de visualizar de forma clara e objetiva, o funcionamento desses processos e sua importância para a evolução do sistema como um todo. Paralelamente, busca-se entender como ocorreu a evolução do sistema industrializado no Brasil com o intuito de esclarecer o porquê do seu insucesso no país. Finalmente, através de um estudo de caso, pretende-se analisar a implantação de uma obra em Laminados de Concreto Envelopado (LCE) e avaliar quais foram os benefícios obtidos com a utilização desse sistema industrializado, bem como os possíveis problemas da adoção do mesmo.

3. METODOLOGIA

Esse trabalho será iniciado por uma revisão bibliográfica focada na compreensão da história e evolução da industrialização no setor da construção civil, bem como os condicionantes do sistema construtivo e a utilização de elementos pré-fabricados em concreto. Para o desenvolvimento do mesmo, foram consultadas normas técnicas, teses, artigos e livros que fazem referência ao tema proposto. Posteriormente, será realizado um estudo de caso com a intenção de analisar a aplicação do sistema pré-moldado em Laminados de Concreto Envelopado e discutir os resultados encontrados.

Serão seguidas as seguintes etapas de estudo:

1. Investigação da bibliografia de referência;
2. Entendimento da evolução da industrialização na construção civil;
3. Entendimento das condicionantes do sistema construtivo;
4. Estudo dos sistemas pré-moldados em concreto armado;
5. Investigação de um estudo de caso: Painéis LCE;
6. Discussão dos resultados e considerações finais.

4. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

4.1 Introdução

A história da industrialização, apesar de recente, pode ter seu princípio encontrado em épocas mais remotas. Desde a Grécia antiga e o tempo dos Romanos já era possível identificar exemplos de modulação e padronização na construção civil (BENEVOLO, 1994). Com o surgimento das primeiras máquinas manuais e hidráulicas, o homem passa a utilizar meios mecânicos para executar suas tarefas, aliviando assim sua carga de trabalho e conseqüentemente provocando a evolução do método artesanal. Por fim, com o advento da Revolução Industrial no final do século XVIII, os processos de industrialização atingem os mais diversos setores sociais, entre eles o da construção civil.

De acordo com Bruna (1976), o processo de industrialização ocorre em 3 fases distintas:

1ª- Num primeiro momento, ocorre o nascimento das máquinas que reproduzem as mesmas ações artesanais anteriormente executadas pelo homem, capazes de executar uma diversidade de ações produtivas cabendo ao operário somente comandá-las e ajustá-las;

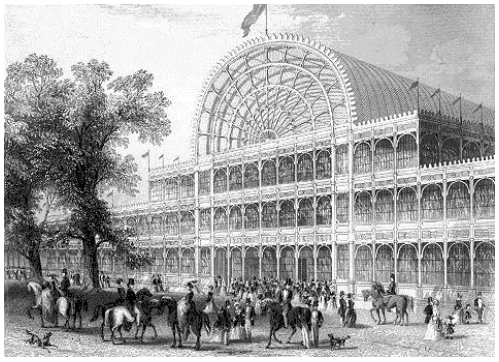
2ª- Depois, ocorre a transformação dos mecanismos no sentido de ajustá-los à execução de determinadas tarefas. O trabalho manual é subdividido em atividades unitárias mais simples e o operário é treinado apenas para repetir determinados movimentos no menor tempo possível com o objetivo de obter os melhores resultados econômicos, quantitativos e qualitativos. Nessa fase ocorre também a integração entre a produção e o transporte do material e do produto acabado;

3ª- Finalmente, por volta dos anos 1950 assiste-se de forma gradual a substituição das atividades que o homem exercia sobre e com a máquina por mecanismos (a diligência, a avaliação, a memória, o raciocínio, a concepção, etc.). A série passa a ser entendida não mais como repetição de objetos sempre iguais, mas sim como fluxo de informações, o que, dentro do setor da construção civil, possibilitou a produção de séries

continuamente diversas que permitem a adequação da produção às exigências de cada obra.

4.2 Os novos materiais e a pré-fabricação de componentes

Na primeira metade do século XIX, as exigências por construções melhores e mais resistentes aumentaram, solicitando assim novos materiais de construção da indústria. Nesse período a utilização do ferro e do vidro foi altamente difundida na construção de grandes estações ferroviárias, pontes e pavilhões de exposição, conforme ilustrado nas figuras 01 e 02. As peças de ferro eram também exportadas em navios para diversos países, muitas vezes construções inteiras, englobando desde elementos estruturais a peças de acabamento e ornamentais. As obras eram realizadas conforme instruções pré-determinadas, e a montagem das peças acompanhadas por engenheiros europeus (BRUNA, 1976). Apesar de já se fazerem presentes as noções de flexibilidade e mobilidade na arquitetura, nota-se que a contribuição da indústria nesse primeiro momento esteve mais relacionada com a substituição dos materiais do que com o desenvolvimento das técnicas construtivas em si.



Figuras 01 e 02 - O Palácio De Cristal em Londres, Inglaterra. Projeto em ferro e vidro do arquiteto Sir Joseph Paxton, construído para abrigar a Grande Exposição de 1851.
Retirado de http://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton/
Acesso em Novembro de 2014.

Entretanto, apesar de a pré-fabricação ter sido experimentada com sucesso em inúmeras partes do mundo, na segunda metade do século XIX houve um abandono da técnica, que só foi retomada quase um século depois na

reconstrução das cidades destruídas pelas grandes guerras. Esse abandono deveu-se principalmente à subdivisão do processo construtivo em fases distintas de produção e montagem, o que ocasionou uma dificuldade de integração entre as partes envolvidas, acarretando em uma ineficiência geral do processo.

4.3 O sistema como solução tecnológica para a construção civil

Os grandes planos de reconstrução dos países europeus que se seguiram a 2ª Guerra Mundial possibilitaram a aplicação em larga escala dos processos industrializados no setor da construção civil. Segundo Bruna (1976), o enorme déficit habitacional acumulado após a guerra, a carência de materiais de construção disponíveis no mercado, as dificuldades de obtenção de recursos financeiros e a escassez de mão-de-obra especializada foram fatores determinantes para o emprego das técnicas de construção industrializadas.

A industrialização da construção foi vista então como única solução operativa para a complexidade dos problemas que se apresentavam, e graças à formação de equipes técnicas experientes empenhadas no esforço da reconstrução e de políticas habitacionais objetivas e atuantes, a Europa começou a se reerguer (ver figura 03). Na França, por exemplo, a racionalização e a mecanização dos processos na indústria da construção civil contribuíram de maneira considerável para o aumento da produtividade e a redução dos custos das unidades habitacionais implantadas.

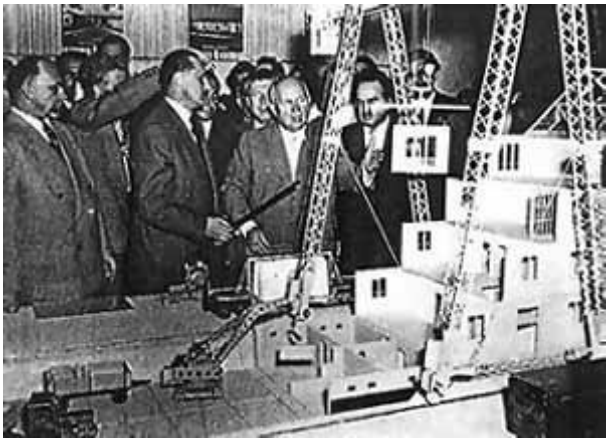


Figura 03 - Nikita Chruschtschow e Walter Ulbricht inspecionam sistemas construtivos em 1957
Fonte: http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.014/866. Acesso em Novembro de 2014

Portanto, segundo Moreira (2012, p.20), “é no contexto do pós-guerra que há uma opção pela utilização do sistema pré-fabricado como solução para a construção, devido às características próprias do sistema (racionalização de custos, prazos e rapidez de execução), bem como as necessidades sociais, econômicas e políticas em que se encontravam aqueles países”.

Por volta da década de 1980, a Europa vivencia uma segunda geração tecnológica no campo da industrialização da construção com o surgimento da tendência dos sistemas construtivos de ciclo aberto. Tais sistemas ampliaram as possibilidades de aplicação dos componentes pré-fabricados e levaram a industrialização a outro patamar.

5 SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADOS

5.1 Industrialização de ciclo fechado

O **sistema de ciclo fechado** consiste na fabricação de componentes adequados a um tipo especifico de edificação. A partir de um determinado projeto, serão produzidos em série todos os elementos construtivos do edifício por uma mesma empresa, que executa com seus próprios meios o produto final, isto é, o edifício completo (figura 04). Os componentes de um sistema de ciclo fechado têm então uma procedência única, não podendo assim ser combinados a componentes de outros sistemas e fabricantes. Dessa maneira, “o sistema fechado só se viabiliza economicamente quando são considerados somente os custos de construção, desconsiderando a manutenção, alteração para adequação e ampliação e, mesmo assim, para um grande número de unidades.” (MANDOLESI, 1981).

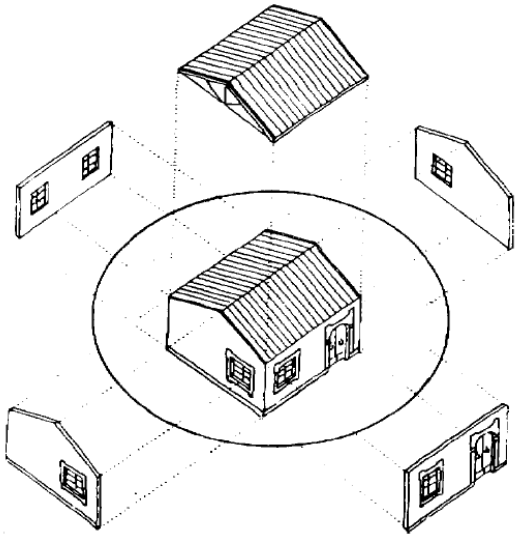


Figura 04 - Sistema industrial fechado

Fonte: Mandolesi, 1981

Mandolesi (1981) enumera as seguintes limitações para esse sistema:

- Demanda a produção de uma determinada quantidade de unidades do mesmo tipo, de modo a viabilizar sua fabricação;
- Descarta a possibilidade de que os componentes sejam abertos ao mercado inviabilizando sua aplicação em outros tipos e categorias de edificações;

- Restringe a diversidade de edificações que poderiam ser criadas dadas as características únicas dos componentes do sistema;
- Por todas as limitações citadas acima, acaba por tornar-se exclusivo às grandes empresas, deixando em desvantagem as pequenas e médias, a não ser que estas se associem à cooperativas ou consórcios.

Em resumo, a construção industrializada por sistema industrial fechado caracteriza-se pela produção de tipos pré-determinados de edificações, por meio da pré-fabricação em série dos componentes construtivos, que terão uso exclusivo no sistema adotado (MANDOLESI, 1981).

5.2 Industrialização de ciclo aberto

O **sistema de ciclo aberto** consiste na industrialização de componentes destinados ao mercado, e não a um tipo específico de edificação. Esses componentes deverão então ser funcionais e polivalentes, de maneira que possam ser utilizados em qualquer projeto de edificação e que possam ser produzidos por diversos fabricantes (figura 05). De acordo com Bruna (1976, p.60), “os elementos assim produzidos poderão ser combinados entre si numa grande variedade de modos, gerando os mais diversos edifícios e satisfazendo uma larga escala de exigências funcionais e estéticas”.

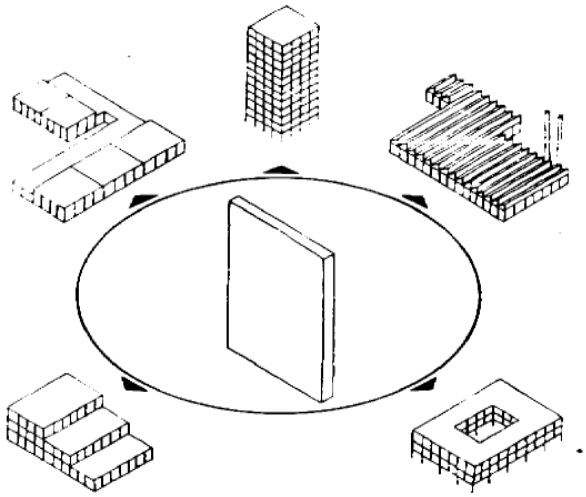


Figura 05 - Sistema industrial aberto

Fonte: Mandolesi, 1981

Bruna discorre sobre os componentes do sistema de ciclo aberto da seguinte maneira:

> É preciso que os componentes feitos dos mais diversos materiais possuam as características básicas de um sistema aberto, ou em outras palavras é preciso que tais peças sejam SUBSTITUÍVEIS por outras de diferentes origens; INTERCAMBIÁVEIS, isto é, possam assumir diferentes posições dentro de uma mesma obra; COMBINÁVEIS entre si, formando conjuntos maiores (aditividade dos termos), e que por sua vez sejam PERMUTÁVEIS por uma peça maior ou por um número de peças menores (BRUNA, 1976 p.62).

Esse tipo de sistema prevê por parte do fabricante o estabelecimento de um catálogo que informe todas as características das peças produzidas e também a existência de um estoque das mesmas, que poderão ser fornecidas a pronta entrega.

Mandolesi (1981) lista uma série finalidades para o sistema industrial aberto:

- Permitir maior inserção do produto no mercado de construção, devido às amplas possibilidades de escolha oferecidas;
- Aumentar a flexibilidade sobre o tamanho da série dos produtos, uma vez que no sistema aberto a produção dos componentes independe de uma demanda específica;
- Facilitar a organização das empresas produtoras de componentes;
- Limitar os custos de instalação através da criação de empresas especializadas na produção de cada tipo de componente;
- Permitir liberdade na concepção do projeto arquitetônico e, principalmente, possibilitar a constante manutenção nos modelos executados.

Em síntese, a construção industrializada por sistema aberto caracteriza-se pela concepção de elementos construtivos por meio de procedimentos industrializados e de componentes coordenados modularmente, que sejam independentes de um tipo específico de edificação. (MANDOLESI,1981).

Para tanto, é necessário que existam parâmetros coordenantes que permitam a compatibilização entre os componentes do sistema. Tais parâmetros serão definidos então pelo conceito de coordenação modular.

5.3 Modulação e coordenação modular

A modulação ou coordenação modular é uma ferramenta que possibilita a integração entre as tecnologias e materiais dos processos industriais de maneira bastante acertiva. Pode ser entendida como um sistema de medidas que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares.

O objetivo deste sistema é o de organizar as dimensões das construções, de modo a reduzir a variedade de tamanhos nos quais os componentes devam ser produzidos, e permitir seu uso no canteiro sem modificações, cortes e retoques, tomando como referência a dimensão de base denominada módulo. (BRUNA, 1976). A modulação e padronização dos componentes fornecem a base para a compatibilidade entre os elementos e subsistemas. O módulo pode então ser considerado como uma unidade de proporção, funcionando como denominador comum de todas as dimensões do projeto.

A coordenação modular traz assim, várias conseqüências positivas para o processo construtivo, entre elas:

- Redução da quantidade de formatos de cada componente, além de promover a normalização destes;
- Melhoria na comunicação entre as partes envolvidas no desenvolvimento do projeto, fabricantes e executores;
- O projeto, apesar de mais complexo devido ao maior número de detalhes de construção, apresenta menores chances de sofrer modificações na fase de execução;
- Simplifica a execução da obra através da racionalização do projeto, da posição e da montagem de seus componentes;
- Otimização nos processos de ampliação, manutenção e reposição das unidades construídas.

5.4 Condicionantes do sistema

Para que um sistema seja considerado industrializado, existe uma série de características essenciais a serem adotadas de maneira a garantirem seu desempenho técnico e funcional.

Segundo descreve Blachére (1977, P.9): “A essência da industrialização é a de produzir um objeto sem mão de obra artesanal, com máquinas utilizadas por funcionários simplesmente especializados, não qualificados, ou melhor, por máquinas automáticas. Esta é a base da industrialização.”Tais características são, portanto, consequências de um processo industrializado.

5.4.1 Organização

A organização seria o planejamento das diversas fases e operações existentes num processo de produção: primeiro a pesquisa sobre o produto a ser fabricado, depois sua industrialização, controle, comercialização e por fim, a distribuição. Segundo Bruna (1976), “o planejamento da produção é acima de tudo o instrumento de otimização no plano qualitativo e econômico do bem a ser produzido”.

5.4.2 Racionalização

Racionalização pode ser definida como um “processo mental que governa a ação contra os desperdícios temporais e materiais dos processos produtivos, aplicando o raciocínio sistemático, lógico e resolutivo, isento do influxo emocional.” (ROSSO, 1980). Em um processo industrializado, é preciso estudar os métodos de produção mais eficazes para reduzir o tempo de trabalho e consequentemente aumentar a produtividade e a rentabilidade.

5.4.3 Produção em série

De acordo com Huth (1976) “a produção em série é uma condição necessária para o emprego de uma tecnologia industrializada e determinante de um processo industrial. Só existe industrialização se há uma tecnologia mecanizada envolvida no processo”. A produção em série é, portanto um fator condicionante

para que o método seja economicamente viável uma vez que o preço do produto no mercado deve ser competitivo.

5.4.4 Produtividade

Segundo Rosso (1980), produtividade é a relação entre insumos e produtos. A melhora da produtividade é alcançada através do progresso técnico e mediante a eliminação de desperdícios.

Bruna (1976) enumera três exigências básicas para a otimização da produtividade industrial:

- Redução do número de tipos a serem produzidos;
- Existência de catálogo e estoque das peças produzidas;
- Fabricação e montagem dentro do quadro de uma coordenação dimensional rigorosa e universal;

5.4.5 Integração

Quando da utilização de um sistema construtivo industrializado, a integração entre as partes envolvidas é um aspecto fundamental em todas as fases do processo. A falta de informação e comunicação entre essas partes (projetistas, calculistas, executores, fornecedores e demais agentes) acarreta em perda de tempo, através de erros e repetições. É preciso, portanto, buscar a integração desde a concepção do projeto (com escolha do método construtivo) até a execução da obra.

6 DA ADOÇÃO DE UM SISTEMA INDUSTRIALIZADO

A adoção de um sistema industrializado pode apresentar um grande número de vantagens sobre o método de alvenaria tradicional, entretanto, antes da tomada de decisão na adoção de qualquer sistema, é necessário identificar os ganhos reais em cada projeto específico. Dessa maneira considera-se de extrema importância que, desde a fase da concepção do projeto, o sistema a ser utilizado seja incorporado para que os ganhos tangíveis sejam mensurados corretamente.

Nota-se que a maioria das obras executadas em pré-fabricados não foram inicialmente concebidas para a adoção de tal sistema. Para que todas as vantagens desse tipo de sistema possam ser plenamente aproveitadas, o mesmo deverá ser contemplado desde a fase de concepção do projeto.

Segundo El Debs (2000), *apud* Spadeto (2011) alguns aspectos devem ser considerados na elaboração de um projeto com componentes industrializados:

- Respeito à filosofia do sistema;
- Padronização e repetição dos elementos;
- Coordenação modular;
- Uso de detalhes simples;
- Consideração das tolerâncias dimensionais;
- Minimização do número de ligações;
- Utilização de elementos na mesma faixa de peso;

Além dos fatores citados acima, a integração entre as partes envolvidas na concepção do projeto, bem como na fase de execução da obra, torna-se também um fator com alto grau de importância para o sucesso técnico, físico e financeiro de qualquer empreendimento. Com um projeto bem desenvolvido e acompanhado, no qual a compatibilidade entre todas as áreas tenha sido verificada e que todas as partes envolvidas se comuniquem de forma efetiva, podemos identificar os possíveis ganhos quando na adoção de um sistema construtivo industrializado:

- Produção das peças independente das condições climáticas e da demanda existente, garantido sempre o estoque dos componentes;
- Velocidade de execução e redução do tempo de obra, uma vez que os elementos pré-fabricados chegam prontos para instalação, precisando somente ser montados conforme o projeto;
- Diminuição de mão de obra devido à facilidade de execução dos métodos industrializados;
- Uso de mão de obra especializada e matéria-prima selecionada, garantido assim a qualidade final do produto;
- Controle de qualidade dos componentes, que são inspecionados e validados durante o processo de produção;
- Melhor acabamento e precisão geométrica das peças uma vez que as mesmas são produzidas de maneira mecanizada, segundo especificações técnicas e com alto grau de controle de qualidade;
- Controle de quantitativo, uma vez que através do projeto é possível precisar a quantidade de material que deverá ser gasta, evitando desperdícios;
- Maior controle do custo da obra, uma vez que a quantidade específica de materiais pode ser determinada no projeto;
- Redução da geração de resíduos e desperdícios, uma vez que os componentes pré-fabricados, se utilizados conforme previsto, não sofrerão cortes, demolições, etc.;
- Organização e limpeza do canteiro com consequente diminuição dos riscos de acidentes na frente de obra (ver na figura 06).

Figura 06 - Canteiro de obra com utilização de elementos pré-fabricados: limpeza e organização que proporcionam melhorias na logística e na produtividade da obra. Retirado de http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_conteudo&task=viewMateria&id=872. Acesso em Dezembro de 2014

7 O SISTEMA PRÉ-FABRICADO EM CONCRETO ARMADO

7.1 Conceitos e definições

A NBR 9062 (ABNT, 2006) – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado - faz a distinção entre elementos pré-fabricados e elementos pré-moldados e estabelece condições específicas de projeto, produção e controle de qualidade das peças.

Segundo a norma, o elemento pré-moldado é aquele que é executado fora do local de utilização definitiva da estrutura. Esses elementos são produzidos em condições menos rigorosas, uma vez que podem ser inspecionados por inspetores do próprio construtor ou empresas especializadas, dispensando a existência de laboratórios e demais instalações próprias ao controle de qualidade.

Já o elemento pré-fabricado é definido como aquele que é executado industrialmente, ainda que em instalações temporárias em canteiros de obras. Esses elementos são produzidos em condições rigorosas de controle de qualidade, pois devem seguir manuais técnicos que apresentem as especificações e procedimentos relacionados a fôrmas, confecção da armadura, lançamento de concreto, bem como o seu manuseio, armazenamento, transporte e montagem. A fiscalização deve ser registrada por escrito, contendo informações específicas de cada peça, e assinada pelas partes responsáveis pela liberação de cada etapa de produção.

Já Revel (1973) define a pré-fabricação como “toda fabricação de elementos de construção civil em indústrias, a partir de matérias-primas e semi-produtos cuidadosamente escolhidos e utilizados, sendo em seguida estes elementos transportados à obra onde ocorre a montagem da edificação”.

Para os fins desse trabalho, que visa o processo de industrialização da construção civil em geral, e diante da sutil diferença entre as definições entre elementos pré-moldados e pré-fabricados, não se identificou a necessidade de

fazer distinções entre os mesmos.

7.2 Produção dos elementos pré-fabricados

A NBR 9062 (ABNT, 2006) – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado lista algumas especificações relacionadas à execução, controle de qualidade, manuseio, armazenamento e transporte de componentes pré-fabricados de concreto armado. Nos itens seguintes, as etapas que compõe o processo de produção dos elementos pré-fabricados em concreto armado serão abordadas individualmente.

7.2.1 Fabricação

A NBR 9062 (ABNT, 2006) estabelece alguns parâmetros para a fabricação de elementos pré-fabricados em concreto. Segundo a norma, podem ser adicionados aditivos ao concreto com o objetivo de acelerar ou retardar a pega, reduzir o calor de hidratação, melhorar a trabalhabilidade, reduzir a relação a/c, aumentar a compacidade e impermeabilidade entre outros, desde que atendam às especificações de Normas Brasileiras ou, na falta destas, se as propriedades tiverem sido especificadas em laboratórios especializados. Nos elementos protendidos os aditivos utilizados não devem conter ingredientes que possam provocar a corrosão do aço. A norma preceitua também que a resistência mecânica do concreto em componentes pré-moldados não deve ser inferior a 15 MPa e em componentes pré-fabricados essa resistência sobe para 18 MPa.

Visando sempre a produtividade, a indústria de pré-fabricados geralmente utiliza o cimento CP V ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), para que a retirada de peças das fôrmas possa ocorrer num curto período de tempo, uma vez que o concreto deve apresentar uma resistência mínima para que tal procedimento possa ser feito.

Sobre o emprego do aço nas peças pré-fabricadas, a NBR 9062 (ABNT, 2006) dispõe que as barras, fios de aço, telas soldadas e cordoalhas devem obedecer às respectivas normas vigentes especificas: NBR 7480 (ABNT, 2007), NBR 7481

(ABNT, 1990), NBR 7482 (ABNT, 2008), NBR 7483 (ABNT, 2008) e NBR 7484 (ABNT, 2009).

O projeto e a execução das fôrmas devem atender as condições para fácil desmoldagem, de modo a evitar danos nos elementos concretados. As fôrmas podem ser constituídas de aço, alumínio, concreto ou madeira e devem ser correspondentes às formas e dimensões das peças, respeitando as folgas e tolerâncias conforme disposto na NBR 9062 (ABNT, 2006). Dependendo do tipo de material usado na sua confecção, elas poderão ser reaproveitadas por diversas vezes, desde que sejam devidamente limpas e desprovidas de quaisquer substâncias que possam aderir à superfície do concreto antes de sua reutilização.

Durante a concretagem ou logo após o lançamento do concreto, este deve ser adensado por prensagem, vibração ou centrifugação, ou até mesmo através da adoção simultânea de mais de um desses métodos, de modo que o concreto preencha todos os recantos da fôrma.

O processo de cura pode ser normal ou acelerado. Na cura normal não se utiliza nenhum tipo de processo para que o concreto atinja a resistência desejada antes de seu tempo natural. Assim, quando da adoção desse método o concreto deverá ser protegido contra condições climáticas, agentes químicos ou físicos que possam causar fissuração na sua massa ou prejudicar a sua aderência armadura (ABNT, 2006).

No processo de cura acelerada o endurecimento do concreto pode ser antecipado através de tratamento térmico adequado e controlado. O tratamento deverá ser feito em ambiente vedado por material isolante, de modo a garantir a saturação do vapor e impedir a perda excessiva de calor e umidade, bem como a formação de correntes de ar frio advindas do exterior. As saídas dos pontos de alimentação de vapor devem ser estrategicamente posicionadas para evitar a descarga direta sobre a superfície do concreto, das fôrmas e dos corpos de prova. As temperaturas da câmara de vapor e do elemento pré-moldado deverão

ser devidamente controladas, não ultrapassando 70º C (ABNT, 2006).

7.2.2 Manuseio, Armazenamento e Transporte

O manuseio das peças pré-moldadas (suspensão e movimentação) deve ocorrer por intermédio de máquinas e equipamentos apropriados, em pontos de suspensão afixados nas peças de concreto, sendo estes previamente definidos em projeto. A movimentação deve ser feita cuidadosamente, de modo a evitar que a peça sofra danos por choques ou movimentos abruptos. O dimensionamento das máquinas de suspensão e movimentação devem levar em consideração as solicitações dinâmicas das peças (ABNT, 2006).

Para o armazenamento dos elementos pré-moldados, deverão ser tomadas as mesmas precauções que no processo de manuseio. As peças devem ser depositadas sobre dispositivos de apoio, como cavaletes, caibros ou vigotas, assentados em terreno plano e firme. As peças podem ser empilhadas, desde que sejam intercaladas sobre superfícies de apoio, de modo a evitar o contato entre elas. O posicionamento dos apoios deve ser definido em projeto e deverão ser constituídos ou revestidos de materiais que não danifiquem a superfície de concreto. Na formação de pilhas devem ser tomados cuidados especiais para manter a verticalidade longitudinal e transversal dos planos, além de avaliar a segurança contra o tombamento das peças.

O transporte das peças pré-moldadas deve ser realizado em veículos apropriados às suas dimensões e peso, levando em consideração as solicitações dinâmicas e as condições de apoio especificadas no projeto. Os elementos dispostos em uma ou mais camadas deverão ser devidamente escorados e as superfícies de concreto deverão ser protegidas para evitar danos nas regiões de contato com cabos, correntes ou outros dispositivos metálicos.

7.2.3 Montagem

A montagem dos elementos pré-moldados em suas posições definitivas na obra deverá ser realizada por intermédio de máquinas, equipamentos e acessórios, em

pontos de suspensão devidamente definidos em projeto. No manuseio deve-se evitar choque e movimentos abruptos para garantir a integridade das peças. Poderá ser previsto em projeto o escoramento provisório para auxiliar no posicionamento e na estabilidade das peças até que ligação definitiva seja efetuada.

Segundo discorre Spadeto (2011) a elaboração de projeto de canteiro é de extrema importância quando há a utilização de estruturas pré-fabricadas na obra, uma vez que é necessário avaliar o espaço físico para o armazenamento dos componentes, bem como os equipamentos de montagem e seus raios de abrangência.

7.2.4 Controle de Qualidade

Tal como disposto na NBR 9062 (ABNT, 2006) “o controle de qualidade e a inspeção de todas as etapas de produção, transporte e montagem dos elementos pré-moldados devem ser executados de forma a garantir o cumprimento das especificações do projeto”.

Conforme abordado no início desse capítulo, as peças pré-fabricadas atendem a critérios mais rigorosos de controle de qualidade do que as pré-moldadas. Independente da denominação, as duas modalidades passam por inspeções durante as etapas de produção, transporte e montagem. As peças devem ser devidamente identificadas, individualmente ou por lotes de produção, e podem apresentar alguns dados como: data de fabricação, tipo de aço e concreto utilizados, dimensões, peso, volume, sequência de montagem, número do pedido, etc.

7.3 Elementos pré-fabricados em concreto armado

Atualmente, a indústria de pré-fabricados em concreto armado disponibiliza os mais diversos componentes de uma edificação. De acordo com Spadeto (2011), os elementos pré-fabricados podem ser divididos entre leves e pesados. Os elementos de vedação são geralmente considerados como componentes leves,

uma vez que podem ser manuseados sem auxílio de equipamento mecânico. Já os elementos de fundação e estruturais, são considerados como pesados, e necessitam de auxílio mecânico para seu manuseio e transporte.

A seguir, serão abordadas as tipologias básicas e os componentes mais facilmente encontrados no mercado de pré-fabricados no que se refere a elementos de fundação, contenção, estruturais e de vedação.

7.3.1 Componentes de fundação e contenção

As estacas pré-fabricadas (figura 07) podem ser de concreto armado ou protendido, vibrado ou centrifugado e concretado em fôrmas horizontais ou verticais. Os tamanhos padrões de fabricação são de 6, 8, 10 e 12m de comprimento. Para comprimentos superiores, as estacas poderão ser emendadas por luvas metálicas ou por solda. Quando da execução, deverão ser observadas as medidas referentes ao posicionamento, prumo, marcação, cravação e nega das estacas, conforme as normas brasileiras NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 9062 (ABNT, 2006).

Figura 07 - Cravação de estacas pré-fabricadas em concreto.
Retirado de http://www.tecgeo.com.br/servicos/estacas-pre-moldadas-de-concreto-3
Acesso em Dezembro de 2014.

As cortinas de contenção em painéis treliçados são constituídas por duas placas de concreto interligadas por uma armação estribada formando uma peça única (ver figura 09). O vão entre as placas varia de 9 a 27 cm e é preenchido com concreto especial (20 MPa, bombeável, com pedrisco). As peças são instaladas

entre perfis metálicos previamente cravados, constituindo assim a cortina conforme retrata a figura 10. A placa dupla é dimensionada para suportar o empuxo do concreto que preenche o seu interior, portanto não é necessário nenhum tipo de escoramento durante o procedimento de concretagem. Eventualmente, uma armação vertical pode ser colocada entre os painéis duplos, caso orientado pelo projetista estrutural, para suportar os esforços decorrentes do empuxo de terra.

Figuras 08 e 09 - Painéis treliçados em concreto e montagem da cortina de contenção
Retirado de http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/parede-cortina-pre-moldada-79860-1.aspx. Acesso em Dezembro de 2014.

7.3.2 Componentes estruturais

Os pilares pré-fabricados em concreto armado podem ter seções retangulares ou quadradas. Podem apresentar duto central para escoamento das águas pluviais e consolos de apoio para as vigas, que podem ser de forma trapezoidal ou retangular.

As vigas pré-fabricadas podem ser em concreto armado ou protendidas. Apresentam diversas seções, entre elas as retangulares, tipo I e tipo calha. São utilizadas para apoio de laje, de vedações e travamento geral do sistema.

As lajes alveolares são protendidas e apresentam alta resistência e durabilidade. As placas são fabricadas com largura média de 1,25m podendo chegar até 14,00m de comprimento. Após a montagem é necessária a execução da

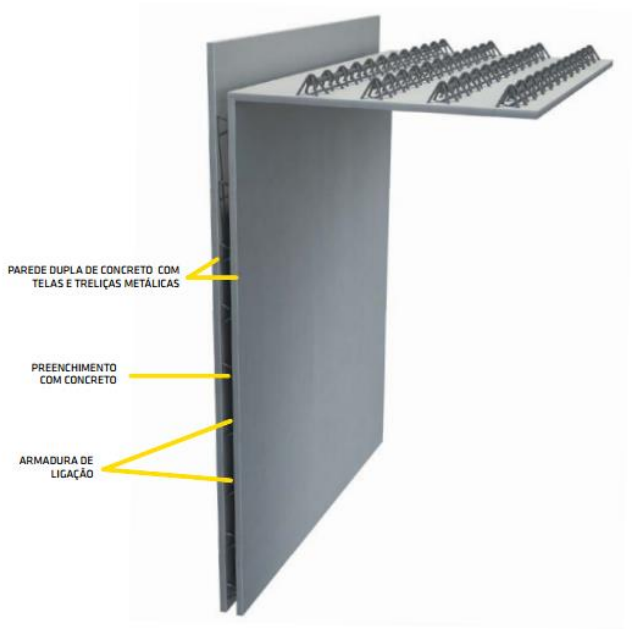
equalização e chaveteamento entre as lajes. Por fim, deverá ser feito um capeamento com concreto 30 MPa com espessura mínima de 5 cm. A figura 10 ilustra um esquema de obra em pré-fabricados de concreto com a utilização de todos os componentes estruturais previamente descritos.

Figura 10 - Esquema de obra em pré- fabricados de concreto utilizando pilares, vigas, laje alveolar e blocos de concreto para vedação.
Retirado de http://www.premodisa.com.br/servicos/vigas. Acesso em Dezembro de 2014.

7.3.3 Componentes de vedação

Os painéis alveolares são elementos pré-fabricados de vedação e podem ser dispostos tanto na horizontal quanto na vertical (figura 11). São solidarizados através de elementos metálicos galvanizados a fogo e as juntas são calafetadas com silicone. As dimensões máximas são de 10 m a 12 m de comprimento para as espessuras de 15 cm e 20 cm respectivamente.

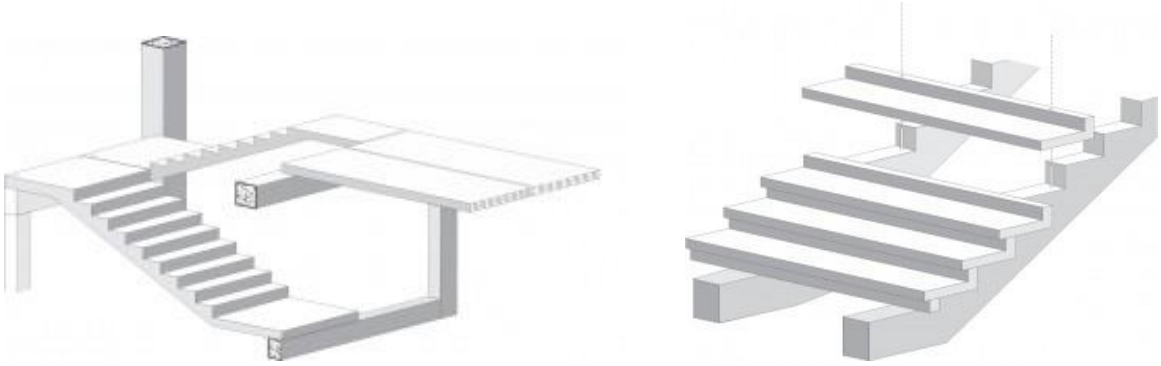
Existem também as paredes maciças de concreto, ou as duplas, interligadas por telas e treliças metálicas (ver figura 12). Dependendo do fabricante, esse tipo de vedação pode vir com os vãos de esquadrias, bem como tubulações elétricas e hidráulicas, conforme especificado em projeto.



Figuras 11 e 12 - Vedações em pré-fabricados de concreto. Na primeira figura, a representação gráfica de um painel alveolar, na segunda, um esquema ilustrativo de parede dupla de concreto.
Retirado de http://www2.cassol.ind.br/paineis-alveolare
Retirado de http://www.sudeste.ind.br/catalogos/sudeste2012.pdf
Acesso em Dezembro de 2014.

7.3.4 Componentes complementares

Existem diversos componentes complementares na indústria de pré-fabricados de concreto como sistemas condutores de água, galerias, caixas de passagem, banheiros prontos, escadas (figuras 13 e 14), etc. As escadas pré-fabricadas em concreto armado são peças únicas, dimensionadas de acordo com normas brasileiras vigentes. Podem ser apoiadas sobre as vigas ou diretamente sobre consolos dos pilares. Podem também receber revestimentos, contanto que tenha sido previsto em projeto. A largura da peça varia de 1,25 m a 1,50 m e podem ser executadas com ou sem patamares extremos de até 2,00 m. Caso as dimensões existentes no mercado não atendam o projeto, podem ser formadas por degraus, patamares e vigas independentes.



Figuras 13 e 14 - Esquemas ilustrativos de escadas em concreto pré-fabricado. Na primeira figura, representação de uma escada em peça única, apoiada sobra a viga. Na segunda, a possibilidade da escada pré-fabricada em peças independentes que devem ser montadas no local da obra. Retirado de http://www2.cassol.ind.br/produtos-2/escadas/. Acesso em dezembro de 2014.

8 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

Conforme abordado anteriormente nesse trabalho, o uso dos pré-fabricados no Brasil já acontecia em meados do século XIX com a utilização de peças estruturais e ornamentais de ferro que vinham importadas da Europa. O foco desse trabalho porém, é a utilização de estruturas pré-moldadas em concreto, portanto será feita uma abordagem mais profunda pertinente a evolução desse sistema no Brasil.

8.1 A utilização dos pré-moldados em concreto

A primeira obra de que se tem registro do uso de peças pré-moldadas de concreto no Brasil foi a construção do hipódromo da Gávea no ano de 1926, na cidade de Rio de Janeiro. Na execução foram utilizados diversos componentes pré-moldados, entre eles as estacas de fundação e os elementos do muro de fechamento da área do hipódromo (pilares e placas).

Já na década de 50 a Construtora Mauá executou vários galpões com peças pré-moldadas no próprio canteiro de obras. O processo utilizado pela construtora permitia a concretagem de até 10 peças deitadas, empilhadas uma sobre as outras (figura 15), o que viabilizou o aumento de produtividade além da economia de espaço e tempo no canteiro (VASCONCELOS, 2002).

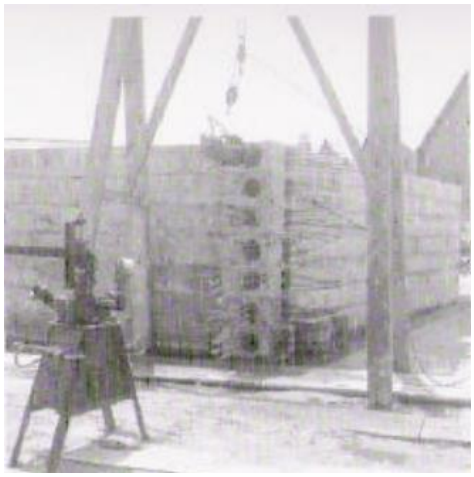


Figura 15 - Fabricação das peças de concreto dos galpões Mauá.
Retirado de VASCONCELLOS, 2002.

Nessa mesma época começam a se instalar no Brasil as primeiras fábricas de peças de concreto pré-fabricadas e foram construídos os primeiros edifícios de pavimentos múltiplos.

No ano de 1966, frente ao panorama de déficit habitacional enfrentado pelo país, o governo criou o Banco Nacional da Habitação – BNH com o objetivo de impulsionar o setor da construção civil. Segundo Oliveira (2002), no início de sua atuação, o BNH adotou uma política de desestímulo aos pré-fabricados na expectativa de incentivar o emprego de mão de obra não qualificada nos canteiros. Já na segunda metade da década de 70 o BNH adotou novas diretrizes, passando a estimular a introdução de novas tecnologias no setor, no intuito de atender as camadas de menor poder aquisitivo. As experiências realizadas com a construção com pré-moldados em concreto porém, não foram muito bem sucedidas, uma vez que os edifícios apresentaram diversos problemas patológicos e de ordem funcional, para os quais o custo na manutenção eram muito altos.

Outras iniciativas ocorreram no intuito de disseminar a industrialização do processo construtivo, entre elas a criação do Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação, editado pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e as construções de argamassa armada desenvolvidas pelo arquiteto João Figueira Lima na década de 80 (ver figura 16). Tais construções foram, porém, concebidas em sistemas industriais de ciclo fechado, o que impossibilitou o intercâmbio com outros sistemas industrializados e até mesmo com as técnicas tradicionais, acarretando na demolição de muitas delas devido à necessidade de reposição/manutenção das peças utilizadas. Além disso, essas iniciativas ocorreram de forma isolada, “dissociadas de qualquer pensamento global, que garantisse a continuidade de tais processos.” (RIBEIRO, 2002, p.28).

Figura 16 - Hospital Sarah Kubitschek, Brasília. Projeto de João Filgueiras Lima em pré-fabricados de concreto armado. Foto: Luiz Seo

Retirado de https://www.flickr.com/photos/lf_seo/5091270823/ .Acesso em Dezembro de 2014

Após analisar o histórico, é possível compreender porque a utilização da construção industrializada ainda encontra tanta resistência no Brasil. A evolução da pré-moldagem no país ocorreu de forma lenta, através da construção de galpões, pavilhões, pontes e unidades habitacionais, muitos dos quais sofreram diversas patologias, levando a uma descrença geral no sistema. Além disso, a descontinuidade da produção de componentes industrializados no Brasil ainda repercute na confiança dos empreendedores em adotar esses sistemas, sendo esse um dos principais motivos de resistência da sua utilização. Outro motivo pertinente seria a própria cultura brasileira no modo de construir.

8.2 Cultura da construção do Brasil

De acordo com Ribeiro (2002) a construção civil no Brasil se dá praticamente através de dois modelos distintos que impactam diretamente no modo como o país se desenvolveu nesse setor:

No primeiro modelo, que representa um percentual menor dentro da totalidade,

as construções ocorrem segundo um planejamento, cumprindo todas as etapas que precedem a obra propriamente dita (desenvolvimento de projetos, cronogramas, acompanhamento por profissionais habilitados, etc.). Nesse modelo a aquisição dos materiais de construção se faz de forma ordenada e controlada, conforme especificado em projetos e cronogramas de obra;

O segundo modelo, representado pela maioria, é a dos auto-construtores que executam suas edificações por conta própria, segundo as suas necessidades, sem nenhum tipo de projeto, habilidades específicas ou planejamento preliminar (Ribeiro, 2002). Nesse modelo a aquisição dos materiais se dá de forma desordenada, geralmente em pequenas quantidades, de acordo com a capacidade financeira do proprietário, sem cronogramas ou prazos a cumprir. Além disso, a compra ocorre geralmente no comércio local, próximo à obra, onde os compradores podem transportar seu próprio material, na quantidade desejada, sem arcar com as despesas de fretes.

Nota-se, entretanto, que a grande parcela representada pela população que constrói conforme o segundo modelo apresentado não utiliza dos sistemas industrializados para a construção de suas casas. Primeiro porque os sistemas disponíveis no país não são compatíveis com a metodologia construtiva que utilizam e também pela resistência que existe por parte dessa população a outros sistemas construtivos que não os tradicionais. Essa realidade contribui de maneira considerável com a falta da disseminação das soluções industrializadas no setor da construção civil do país.

Para Ribeiro (2002), o baixo rendimento da indústria operacional da construção no Brasil está, portanto, relacionada principalmente a três fatores negativos: dispersão e independência nas decisões; descontinuidade e fragmentação da produção e a baixa produtividade da mão-de-obra e elevado desperdício de materiais.

A criação do programa “Minha casa, Minha vida” do governo federal abriu novas

possibilidades no setor da construção civil. Com o objetivo de construir unidades habitacionais de baixo custo e com alta produtividade a fim de reduzir o alto déficit habitacional do país, os processos industrializados se mostraram correspondentes à essas expectativas. Dessa maneira o desenvolvimento de novas tecnologias e a aceitação das mesmas vem sendo estimulado a ao longo dos últimos anos.

9. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso será realizado com base em uma obra executada em outubro de 2014 dentro das dependências da Vale S.A., na unidade de beneficiamento de minério de Vargem Grande localizada no município de Nova Lima. O objetivo era construir um vestiário definitivo para um canteiro de obras de forma rápida e barata para atender cerca de 120 funcionários que vinham utilizando banheiros químicos. Após pesquisar diversos tipos de tecnologias no mercado, encontrou-se a solução construtiva dos Painéis LCE (Laminados de Concreto Envelopado). A tecnologia adotada permitiu que a construção do vestiário ocorresse de forma mais barata, segura, organizada e rápida, o que incentivou o seu uso em outras obras.

9.1 Método construtivo

Desenvolvido pelo Prof. Eng. Anselmo Azevedo Duarte, o sistema LCE é um sistema misto que consiste em placas de concreto armado emoldurados em todo o seu perímetro por perfis de aço tipo U formados a frio. Esses perfis, quando soldados uns aos outros, atuam como estruturas multilaminares e proporcionam maior capacidade de resistência ao sistema. As placas podem ser fabricadas em diversas formas e dimensões, conforme especificações do projeto, o que permite uma variedade de composições e aplicabilidades tais como pontes, viadutos, contenções, edificações residenciais, comerciais e industriais, dentre outras.

A concepção desse sistema se deu após a observação de dois acidentes provenientes de abalos sísmicos que ocorreram no ano 1989 em São Francisco, Estados Unidos e no ano de 1995 em Kobe, Japão. Após analisar os efeitos causados pelos terremotos nos viadutos de Cypress Street (EUA) e Hanshin Expressway (Japão), o pesquisador observou que os pilares de concreto armado não apresentavam a flexibilidade necessária para se deformarem sem se romperem durante os abalos. Dessa maneira, apesar da rigidez das peças, os esforços foram transmitidos para as fundações, levando-as a ruína. (DUARTE, 2006).

Duarte propõe então a construção de estruturas formadas a partir de células primárias em formato de lâminas de concreto envelopado que, quando unidas, o conjunto possa trabalhar estruturalmente dentro do princípio dos feixes (junção de placas unidirecionais), apresentando propriedades flexíveis que sejam capazes de absorver as imposições mecânicas provenientes das movimentações sísmicas.

Segundo Duarte (2006), três características chamam a atenção na utilização de estruturas multilaminares:

- A longevidade da estrutura, uma vez que existe a possibilidade de substituição de lâminas danificadas ao longo do tempo;
- A originalidade, que permite alterar o objetivo inicial da peça para atender uma nova solicitação através do acréscimo ou eliminação de lâminas do feixe;
- A especificidade, uma vez que as peças podem ser combinadas em uma infinidade de maneiras para atender as mais diversas necessidades construtivas.

9.2 Especificação dos componentes

Na construção do vestiário abordado nesse estudo de caso, as estruturas laminadas foram utilizadas atuando como paredes de concreto. Os painéis são geralmente fabricados nas dimensões padrão de 1,00 x 3,00 x 0,075 m, 2,00 x 3,00 x 0,075 m, 3,00 x 3,00 x 0,075 m, e 4,00 x 3,00 x 0,075 m, mas é possível que sejam produzidos conforme especificação do projeto, podendo inclusive receber ainda na fábrica as instalações, revestimentos e esquadrias. A figura 17 ilustra a composição de um Laminado de Concreto Envelopado.

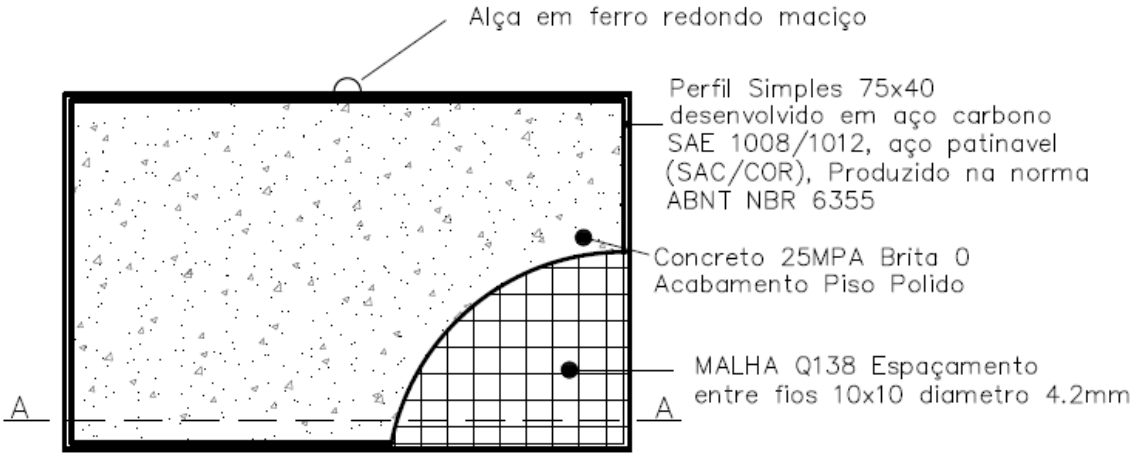


Figura 17 – Composição de um Laminado de Concreto Envelopado

Fonte: Falco Construções

9.3 Processo de fabricação

9.3.1 Modelagem ou envelopamento

A linha de produção se inicia com o processo de modelagem da placa, ou seja, a fabricação da moldura em perfis metálicos *U* de cada painel. Esses perfis definirão também a espessura das placas e receberão internamente os componentes estruturais da mesma (telas soldadas) conforme retrata a figura 18. O desempenho estrutural das placas poderá ser definido conforme necessidade do projeto após análise de viabilidade técnica.

Figura 18 – Moldura e armação do Painel LCE

Fonte: Própria autora

9.3.2- Instalações

Após a modelagem das placas, estas são encaminhadas para á área de acessórios da linha de produção. Nessa fase são realizadas as instalações elétricas, hidráulicas, hidrossanitárias além da demarcação dos gabaritos de portas, janelas e outros vãos definidos em projeto (figuras 19 e 20).

Figuras 19 e 20 – Instalações e gabaritos

Fonte: Falco Construções

9.3.3 Concretagem

A placa é então encaminhada para a mesa de concretagem, previamente untada com produto desmoldante, que funciona como uma forma móvel, facilitando a desforma do painel com maior agilidade para que possa ser utilizada novamente com maior rapidez. A concretagem da placa é feita através de um caminhão betoneira que lança o concreto diretamente sobre a mesa (ver figura 21). Uma vez lançado o concreto, serão acionados os vibradores de superfície para adensamento do mesmo. Finalmente, essa etapa do processo será concluída com a limpeza e a execução de pequenos acabamentos da peça.

Figura 21 – Concretagem do Painel LCE

Fonte: Falco Construções

9.*3.4 Desforma*

O processo de envelopamento permite que a desforma seja realizada 24 horas após a concretagem da peça, uma vez que confere sustentação para o içamento da placa na posição vertical. A desforma ocorre com o deslocamento gravitacional da peça quando a mesa concreteira é basculada. Após a desforma, a placa é transportada para a área de cura onde permanecerá até que atinja a resistência de projeto.

9.3.5 Revestimentos

Caso seja solicitado algum tipo de revestimento da placa, o processo poderá ocorrer na própria mesa de concretagem. O revestimento cerâmico, por exemplo, é previamente posicionado sobre a mesa com o uso de espaçadores e só então a peça é concretada. De acordo com o memorial descritivo do processo, a superfície plana da mesa garante o nivelamento das peças entre si.

No caso de pintura, não tendo recebido ainda nenhum outro tipo de revestimento, a placa é encaminhada para o setor de pintura por imersão, onde receberá numa primeira etapa o selador e numa segunda etapa a primeira demão de tinta, que deverá ser finalizada após a montagem das placas na obra.

9.3.6 Acessórios

Nessa fase são fixados os acessórios finais e complementares (esquadrias, vidros, fiação, etc.).

9.3.7 Controle de Qualidade

Após a conclusão de fabricação da placa, essa passa por uma inspeção de controle de qualidade para garantir que não houve comprometimento da peça durante todo o processo. Depois de aprovadas, as peças recebem um selo atestando a qualidade.

9.3.8 Identificação

As placas deverão receber uma identificação numérica para controle do processo de estocagem. O analista de processo define ainda na fase de viabilidade técnica o posicionamento de cada placa, assim essa deverá ser codificada de maneira que o seu carregamento, transporte e montagem na obra ocorra conforme endereçado no projeto.

9.3.9 Carga e transporte

Finalmente, as placas são carregadas em pallets na ordem inversa da montagem e transportadas em caminhões munck que deverão ter a lança compatível com o projeto. Como dispositivo auxiliar para içamento e manuseio das peças, alças compostas por barras de aço CA25 com 10 mm de diâmetro são instaladas nas laterais dos perfis de aço (figura 22). Essas alças são soldadas diretamente na alma dos perfis U à 1/3 da altura e no meio da espessura de cada painel.

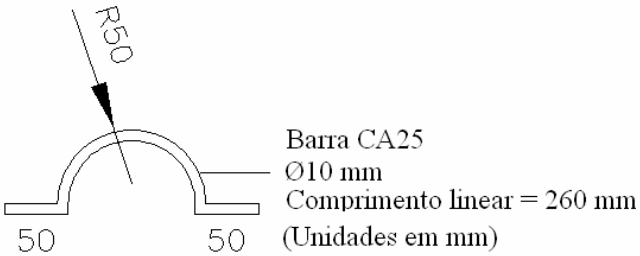


Figura 22 - Detalhe de uma alça para painéis de LCE

Fonte: Falco Construções

9.4 Processo de montagem

Para a descrição da montagem do sistema construtivo, será considerado o ocorrido no objeto desse estudo de caso. Os painéis LCE foram fabricados conforme projeto de arquitetura, após passar pelo estudo de viabilidade técnica (figura 23).

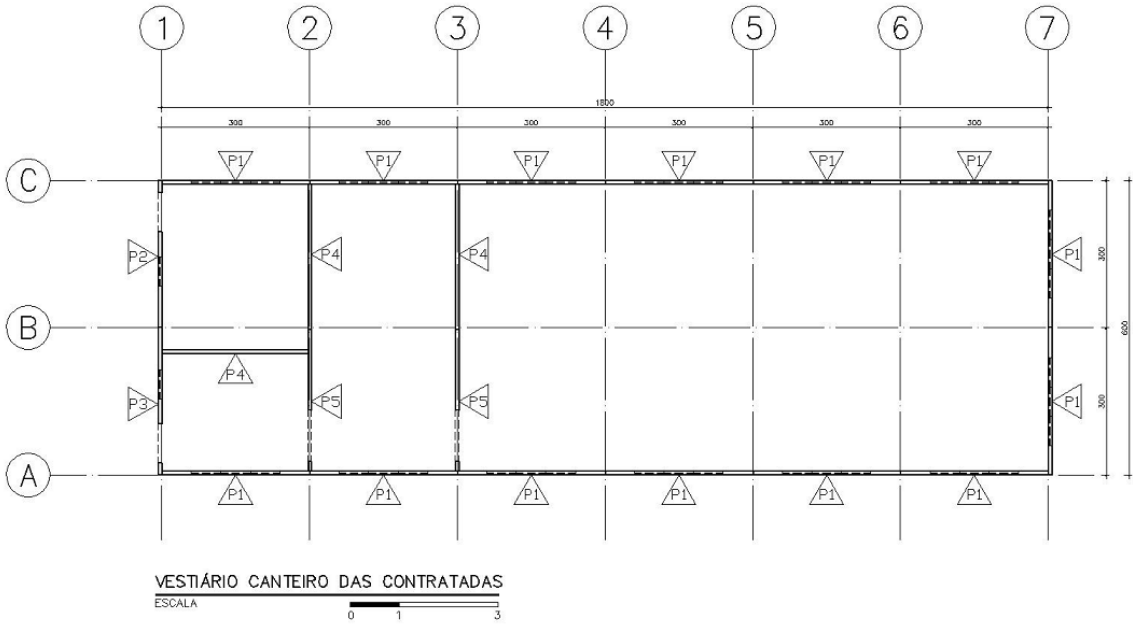


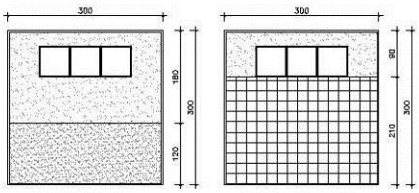
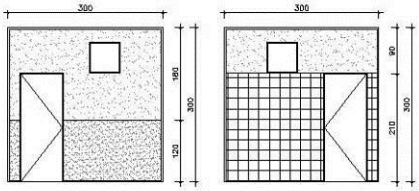
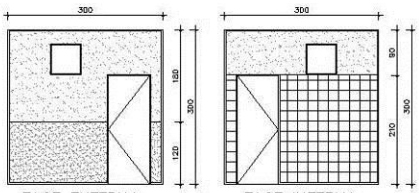
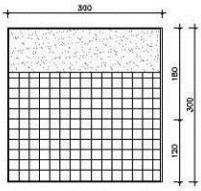
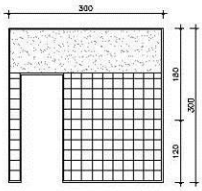
Figura 23 - Planta baixa com especificação dos painéis

Fonte: Própria autora

Conforme especificado na Tabela 04, utilizou-se um total de 21 painéis nas dimensões de 3,00m x 3,00 m e 0,075m de espessura. Os laminados foram entregues com todas as instalações hidráulicas embutidas, com acabamento interno em cerâmica e o externo em pintura. Como as instalações elétricas deveriam ser externas, optou-se por executá-las posteriormente, com utilização de mão de obra própria.

Tabela 1 – Especificação dos painéis em laminados em concreto envelopado usados na obra do Vestiário das Contratadas de VGR. Fonte: própria autora

QUADRO DE ACABAMENTOS		
REVESTIMENTOS	FACES EXTERNAS	PINTURA COM TINTA ESMALTE SELF–COLOR VERDE MAR DE ROLO ACETINADO ATÉ H=1,20m. ACIMA PINTURA COM TINTA ACRÍLICA SELF–COLOR CINZA FÓSSIL FOSCA
	FACES INTERNAS	REVESTIMENTO EM CERAMICA BRANCA 20X20 ATÉ H=2,10m PINTURA COM TINTA ACRÍLICA SEMIBRILHO. COR: BRANCO GELO.

QUADRO DE PAINÉIS				
CÓDIGO	DIMENSÕES	QUANT.	DESCRIÇÃO	CROQUI ILUSTRATIVO
P1	300X300CM	14	PAINEL PRÉ–MOLDADO EM CONCRETO ARMADO, EMOLDURADO COM PERFIL DE AÇO ENRIJECIDO.	 FACE EXTERNA FACE INTERNA
P2	300X300CM	01	PAINEL PRÉ–MOLDADO EM CONCRETO ARMADO, EMOLDURADO COM PERFIL DE AÇO ENRIJECIDO.	 FACE EXTERNA FACE INTERNA
P3	300X300CM	01	PAINEL PRÉ–MOLDADO EM CONCRETO ARMADO, EMOLDURADO COM PERFIL DE AÇO ENRIJECIDO.	 FACE EXTERNA FACE INTERNA
P4	300X300CM	03	PAINEL PRÉ–MOLDADO EM CONCRETO ARMADO, EMOLDURADO COM PERFIL DE AÇO ENRIJECIDO.	
P5	300X300CM	02	PAINEL PRÉ–MOLDADO EM CONCRETO ARMADO, EMOLDURADO COM PERFIL DE AÇO ENRIJECIDO.	

O tipo de fundação mais utilizado para esse tipo de construção é o radier, justamente por sua característica de rápida execução e pela distribuição de cargas sem muitas concentrações (figura 24). Deve apresentar espessura média de oito a dez centímetros, de acordo com a carga solicitada, e é geralmente armado com telas soldadas de baixa resistência. O radier pode ser feito in loco, de maneira tradicional, ou pode ser também montado com os laminados, agilizando mais ainda o tempo de execução da obra.

Figura 24 – Concretagem do radier

Fonte: Própria autora

Antes da montagem do primeiro painel, é fixado sobre o radier um gabarito metálico para demarcação dos contornos externos da construção bem como para garantir o seu perfeito alinhamento. O gabarito permite identificar também possíveis irregularidades e desnivelamentos no piso, que devem ser corrigidos antes do início do assentamento dos painéis.

A montagem ocorre conforme projeto de detalhamento, pela parede número um e sequencialmente até a última parede. As placas são descarregadas e posicionadas com a utilização de um caminhão munck e então escoradas com perfis em aço tipo C, que são soldados na peça para garantir seu perfeito alinhamento, bem como a segurança da atividade e dos envolvidos nela. Por conseguinte, as demais peças são descarregadas, alinhadas, escoradas e

soldadas umas às outras para permitir a amarração da estrutura que, quando finalizada, se torna bastante rígida (figura 25).

Figura 25 – Montagem das placas

Fonte: Própria autora

A soldagem dos painéis foi feita em três pontos com solda elétrica do tipo filete e eletrodo 60/13. A solda é externa e a sua espessura poderá variar de acordo com as solicitações de cada estrutura.

Uma vez terminadas a instalação das placas correspondentes às paredes, inicia-se o processo de colocação das lajes ou coberturas que, no caso da obra em estudo, veio montada em módulos conforme retrata a figura 26.

Figura 26 – Montagem da cobertura metálica

Fonte: Própria autora

Concluída a montagem das placas e cobertura, iniciou-se o processo de acabamento onde as juntas entre os painéis foram preenchidas com espuma de poliuretano e depois rejuntadas com massa acrílica. No caso de juntas aparentes poderá ser usado um selante elastomérico. O piso foi revestido, as instalações elétricas e hidráulicas foram finalizadas e as peças de acabamento foram instaladas (metais, luminárias, louças, etc.). Por fim, foram feitos alguns retoques na pintura para a entrega final da obra (ver figura 27).

Figura 27 – Obra concluída

Fonte: Própria autora

10. RESULTADOS

Nesse capítulo será feito um comparativo entre o sistema convencional e em laminados de concreto envelopado com o intuito de identificar as vantagens e desvantagens da adoção do método construtivo apresentado no estudo de caso.

Tabela 2 – Comparativo dos principais ganhos obtidos entre os sistemas construtivos de Alvenaria Convencional e Laminados de Concreto Envelopado. Fonte: própria autora

OBRA	Vestiário do Canteiro da Contratadas de VGR
Área total	108,00 m²

	ALVENARIA CONVENCIONAL	LAMINAS DE CONCRETO	GANHOS OBTIDOS (%)
PRAZO DE EXECUÇÃO (dias)	90	28	68,9
MÃO DE OBRA	8	3	62,5
GERAÇÃO DE RCC (Kg/m³)	0,1	0,04	63,5

Na obra do vestiário das contratadas as principais vantagens observadas com a utilização do sistema de laminados de concreto foram:

- Redução de 68,9% no prazo de execução da obra;
- Diminuição do risco de acidentes devido à redução de mão de obra empregada e do número e variedade de atividades desenvolvidas na execução;
- Redução da geração de resíduos de obra, bem como dos gastos relativos a bota-fora;
- Organização e limpeza do canteiro;
- Possibilidade de reutilização das placas.

Além das vantagens citadas acima, deverão ser considerados também os ganhos intangíveis como a baixa influência da mão de obra durante a fabricação no resultado final da resistência, o nível de controle tecnológico dos materiais, a diminuição da margem de erro na execução, entre outras.

Visto que os critérios de custo para prestação de serviços dentro de empresas privadas são diferenciados dos praticados no mercado, optou-se por analisar um comparativo entre as composições de custo de uma edificação residencial de 52 m² e de uma edificação residencial de 4 pavimentos com 520 m² de área construída.

Tabela 3 – Estudo comparativo de custos entre os sistemas construtivos de Alvenaria Convencional e Laminados de Concreto Envelopado em uma edificação residencial de 52 m².
Fonte: Falco Cosntruções e Revista Informador das Construções (dez/2014)

ESTUDO 1 - COMPARATIVO CUSTOS		
OBRA: Edificação residencial 1 pavimento - 52m²		
ITEM	**CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL**	**PAINÉIS LCE**
	Prazo de execução: 6 meses	Prazo de execução: 2 meses
Projetos	R$ 2.964,00	R$ 1.209,00
Serviços Preliminares	R$ 1.489,00	R$ 624,00
Locação da obra	R$ 650,00	-
Terraplenagem	R$ 1.682,00	R$ 1.682,00
Fundação Superficial	R$ 7.530,00	R$ 4.482,00
Superestrutura	R$ 14.627,00	R$ 39.291,00
Cobertura	R$ 9.830,32	R$ 8.686,20
Instalações	R$ 8.710,00	R$ 7.104,00
Pavimentação	R$ 2.600,00	R$ 2.600,00
Vidros	R$ 1.550,00	R$ 1.550,00
Esquadrias	R$ 1.660,00	R$ 1.660,00
Revestimentos	R$ 15.902,00	R$ 11.844,50
Forro	R$ 1.920,00	R$ 2.100,20
Pintura	R$ 7.049,50	R$ 5.900,00
Limpeza	R$ 450,00	R$ 450,00
M.O. Direta	R$ 12.000,00	R$ 3.000,00
M.O. Indireta	R$ 11.000,00	R$ 8.500,00
CUSTO TOTAL	**R$ 101.613,82**	**R$ 100.682,90**
CUSTO POR M²	**R$ 1.954,11**	**R$ 1.936,21**

Tabela 4 – Estudo comparativo de custos entre os sistemas construtivos de Alvenaria Convencional e Laminados de Concreto Envelopado em uma edificação residencial de 520 m².
Fonte: Falco Cosntruções e Revista Informador das Construções (dez/2014)

ESTUDO 2 – COMPARATIVO CUSTOS		
OBRA: Edificação residencial 4 pavimentos - 520m²		
ITEM	**CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL**	**PAINÉIS LCE**
	Tempo de obra: 9 meses	Tempo de obra: 3,6 meses
Implantação / Infraestrutura / Terraplenagem / Fundações	R$ 25.800,00	R$ 25.800,00
Superestrutura - Transição	R$ 600,00	R$ 600,00
Superestrutura - Concreto	R$ 21.600,00	R$ 74.048,00
Superestrutura - Aço	R$ 16.721,60	R$ 36.800,40
Superestrutura - Formas	R$ 5.294,00	R$ 11.897,60
Superestrutura - Blocos estruturais	R$ 40.658,90	-
Superestrutura - Mão de obra	R$ 61.040,00	R$ 38.688,00
Revestimentos Externos	R$ 38.502,00	R$ 16.740,00
Revestimentos Internos	R$ 58.893,12	R$ 53.539,20
Instalações	R$ 67.704,00	R$ 64.665,90
Esquadrias	R$ 36.400,00	R$ 36.400,00
Elevadores	R$ 13.000,00	R$ 13.000,00
Cobertura	R$ 7.800,00	R$ 7.800,00
Impermeabilização / Isolamentos	R$ 7.800,00	R$ 7.800,00
Pisos e Forros	R$ 8.840,00	R$ 8.840,00
Vidros	R$ 2.600,00	R$ 2.600,00
DI Canteiro / Equipamentos	R$ 1.120.809,15	R$ 746.954,32
CUSTO TOTAL	**R$ 1.534.062,77**	**R$ 1.146.173,42**
CUSTO POR M²	**R$ 2.950,12**	**R$ 2.204,18**

Apesar dos gastos mais elevados com concreto e aço na utilização de estruturas laminares de concreto envelopado, nota-se, além da eliminação de alguns itens como a alvenaria de vedação e blocos estruturais, uma considerável redução nos prazos de execução e na redução da mão de obra empregada. No caso da edificação de 52m² há uma redução de 66,7% no tempo de execução e 75% nos custos com mão de obra, já no caso dos apartamentos, os percentuais são de 60% e 63,4%, respectivamente.

Através da analise das tabelas apresentadas, nota-se que a viabilidade financeira de uma obra em pré-fabricados está diretamente ligada à quantidade de m² construídos. Enquanto na construção de 52 m² a diferença de preço gira é praticamente nula, na obra de 520m² esse percentual sobe para 25,3%. Dessa maneira é possível concluir que, quanto maior a obra, ou maior o número de unidades a serem construídas, maior será o retorno financeiro do empreendedor ao optar pela utilização de um sistema industrializado. O estudo de viabilidade é portanto, um fator decisivo para o emprego de qualquer sistema industrializado.

Para uma melhor identificação das possíveis patologias que podem se desenvolver nesse sistema construtivo, seria necessária uma observação da evolução das mesmas em longo prazo. Entretanto, algumas particularidades puderam ser verificadas durante a fase de montagem. O acabamento pode deixar um pouco a desejar, principalmente se a base de apoio das placas não estiver completamente nivelada. As juntas também podem ficar desniveladas, e dependendo do tipo de construção e do revestimento a ser aplicado sobre a superfície, podem vir a ser um inconveniente. Além disso, devido às movimentações de carga e transporte das placas, as mesmas apresentaram algumas fissuras no final da montagem, principalmente fissuras à 45º nas quinas dos vãos.

Como em qualquer construção que utiliza paredes de concreto, a temperatura interna tende a ser mais elevada do que em uma edificação feita no método construtivo convencional. Entretanto, os índices de conforto térmico podem ser controlados através do aumento da espessura dos painéis ou da utilização de elementos isolantes, mas os custos dessas alterações devem ser levados em conta no estudo de viabilidade.

Apesar da possibilidade de utilização da tecnologia apresentada em construções de sistemas mistos, na opção por sua adoção deverão ser levadas em conta a manutenção e a reposição das peças a longo prazo, uma vez que o mesmo ainda é fabricado por um número restrito de empresas.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do conteúdo apresentado ao longo desse trabalho, entende-se que o estudo de viabilidade técnica, a compatibilização de projetos e a integração entre todas as partes envolvidas são fatores determinantes para garantir o sucesso da aplicação de um sistema industrializado. Além disso, a adoção da coordenação modular e de sistemas de ciclo aberto são fatores que contribuem positivamente para a padronização e flexibilidade de soluções arquitetônicas, fazendo com que os elementos pré-fabricados sejam um método construtivo extremamente competitivo e muito utilizado no exterior.

Apesar das inúmeras vantagens apresentadas ao logo desse trabalho, o desenvolvimento de sistemas construtivos industrializados no Brasil ainda é limitado. Além de outros fatores citados anteriormente ao longo do capítulo 8, a indústria brasileira de pré-fabricados em concreto é carente de uma normatização atualizada, além de apresentar uma pequena variedade de produtos. Faltam também políticas de incentivo ao uso desses sistemas. Conforme discorre Ribeiro (2002, p.26):

> Existem tentativas de racionalização dos projetos que passam pela preocupação de adequação do concebido a algum sistema construtivo dito modular, mas normalmente fechado. Ainda não é o ideal, mas é um primeiro passo no sentido de chegar a uma normalização mais completa, atingindo também os componentes e materiais de construção, com as concepções do sistema industrial aberto.

Conclui-se que temos muito que evoluir, não só tecnicamente, mas também socialmente, de maneira que o potencial dessas novas tecnologias seja reconhecido e aceito tanto pela sociedade, quanto pelo mercado brasileiro de construção civil.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Informação e documentação - Referências – Elaboração: NBR 6023*. Rio de Janeiro: 2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado: NBR 9062. Rio de Janeiro: 2006

BENEVOLO, Leonardo. História da arquitetura moderna. 4. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2012. 813p.

BLACHÉRE, Gérard. *Tecnologías de la construcción industrializada*. Colección Tecnología y Arquitectura. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A., 1977. 168p.

BRUNA, Paulo J. V. *Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1976. 307p.

CARRASCO, E. RODRIGUES, E. PAULA, F. RIBEIRO, G. QUEIROZ, G. Avaliação do desempenho de vigas de concreto laminar envelopado. *Construindo*, Belo Horizonte, v.5, n.2, Jul/Dez. 2013.

DUARTE, Anselmo Azevedo. *Estruturas Mistas Multilaminares de Concreto e Aço*. Belo Horizonte: 2006. No prelo.

FALCO CONSTRUÇÕES. Memorial descritivo do processo construtivo das unidades residenciais Falco. Belo Horizonte: 2011. 10p.

HUTH, Steffen. Construir com *Celulas Tridimensionales*. Barcelona: Editorial Gustavo Gilli, 1976.

INFORMADOR DAS CONSTRUÇÕES. Composição de CUSTOS LEVE. Revista Informador das Construções, Belo Horizonte. 1656 ed. p.21-30. Dez/2014

KONCZ, I. T. Manual de la Cosntrucción Prefabricada. Barcelona: Editoral Blume, 1968. 409p.

MANDOLESI, Enrico. Edificación. *El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del fututo*. Barcelona: Ediciones CEAC, 1981.

MORAES, P. LIMA, M. Levantamento e análise de processos construtivos industrializados sob a ótica de sustentabilidade de desempenho. *15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-graduação do ITA*. São José dos Campos (SP), p. 19-22, Out/2009.

NETO, E. M. *Concepção arquitetônica condicionado ao sistema construtivo em pré-fabricados de concreto*. Dissertação (especialização em construção civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte: 2013. 58 p.

REVEL, M. *La prefabricación en la construcción*. 1.ed. Bilbao: Urmo, 1973. 457p.

RIBEIRO, M. *S. A Industrialização como Requisito para a Racionalização da Construção*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, FAU, Rio de Janeiro: 2002. 93 p.

RIBEIRO, M. S. MICHALKA JR., C. A contribuição dos processos industriais de construção para a adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil. *Vértices*. Rio de Janeiro, ano 5, n.3, p.90-107, Set/Dez 2003.

RODRIGUES, E.V. *Determinação da resistência última à compressão de painéis de concreto laminar envelopado*. Dissertação (pós-graduação em engenharia de estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte: 2009. 114 p.

ROSSO, Teodoro. *Racionalização da Construção.* São Paulo: FAU/USP, 1980. 300p.

ROSSO, Teodoro. *Teoria e prática da coordenação modular*. Apostila do curso de pós-graduação da FAU/USP. São Paulo: 1976. 224p.

ROZEUNBAUM, Daniel. THOMAZ, Odair Boari. *Parede-cortina pré-moldada.* Téchne 83, Fev/2004.
Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/parede-cortina-pre-moldada-79860-1.aspx> Acesso em 28 de Dezembro de 2014, 16:25

SERRA, S.M.B. FERREIRA, M. de A. PIGOZZO, B.N. Evolução dos Pré-fabricados de Concreto. *1º Encontro Nacional de Pesquisa, Projeto e Produção de Concreto pré-moldado*. São Carlos: Nov /2005. 10p.

SINDUSCON-MG, Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil*. 3. ed. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2008 71p.

SOARES, H. C. Determinação experimental da eficácia de vigas mistas em estruturas multilaminares de concreto. Dissertação (Mestrado) - Universidade FUMEC, Belo Horizonte: 2008.

SPADETO, Tatiana Freitas. Industrialização na construção civil – uma contribuição à política de utilização de *estruturas pré-fabricadas em concreto.* Dissertação (pós-graduação em engenharia de civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória: 2011. 193 p.

VASCONCELOS, A. C. O Concreto no Brasil – pré-fabricação – monumentos – fundações. Volume III. São Paulo: Studio Nobel, 2002. 350p.