

Fernando Paulani

RA: 002200300589, 10º Semestre.

**A TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
EM PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO**

Itatiba

2008

Fernando Paulani

RA: 002200300589, 10º Semestre.

A TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES EM PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, sob orientação do Prof. Dr. Adão Marques Batista, como exigência parcial para a conclusão do curso de graduação.

Itatiba

2008

PAULANI, Fernando. **A tecnologia das construções em pré-fabricados de concreto.**
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado na Universidade São Francisco pela
banca examinadora constituída pelos professores.

Prof. Dr. Adão Marques Batista

USF – orientador

Prof. Dr. Adilson Franco Penteado

USF – examinador

Prof. Ms. André Penteado Tramontin

USF – examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida que tenho e por ter me dado forças nas horas mais difíceis, me guiando sempre pelo melhor caminho e iluminando meus passos.

Aos meus pais, irmãos, namorada e demais familiares que sempre me apoiaram e incentivaram tanto nos estudos como na vida particular e profissional, em especial a minha Avó que hoje me acompanha espiritualmente.

Aos meus colegas de faculdade, em especial o Clayton, Wendel, Ronald, Saulo, Wilson, Carlos Eduardo, Henrique, Gabriel entre outros, por todo apoio e companheirismo durante os anos de vida acadêmica. Sem dúvida foram momentos marcantes dessa jornada tão importante da minha vida e que eu jamais os esquecerei.

Aos amigos e companheiros da vida que sempre estão juntos tanto nos momentos bons como nos ruins.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, por todos os ensinamentos que contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

Agradeço em especial meu orientador o Prof. Dr. Adão Marques Batista, pela dedicação, orientação, atenção e incentivos que foram de extrema importância para a finalização deste trabalho.

“O sucesso foi sempre criatura da ousadia”

(Voltaire)

PAULANI, Fernando. **A tecnologia das construções em pré-fabricados de concreto**. 2008. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco, Itatiba.

RESUMO

A industrialização progressiva dos processos construtivos no Brasil é uma tendência irreversível, onde a tônica agora é o melhor planejamento das atividades construtivas. A indústria de Pré-Fabricados também vem vivenciando transformações importantes, para atender ao ritmo das novas exigências do mercado. Maior preocupação estética, elementos de acabamento suavizado, encaixes mais desenvolvidos, peças especiais para composição com outros sistemas construtivos, pré-vigas, pré-lajes e painéis de fachada invadindo a construção convencional. Palavras como ligações rotuladas, semi-engastadas, estruturas contínuas, painéis alveolares econômicos, edifícios monolitizados após a montagem, já fazem parte da nova linguagem dos pré-fabricados, totalmente preparados para atender a qualquer tipo de projeto estrutural com racionalidade, beleza e eficácia na comparação do custo x benefício das propostas estruturais. Este trabalho apresenta a tecnologia das construções em pré-fabricados de concreto, afim de se demonstrar os benefícios desse tipo de estrutura, tais como agilidade, versatilidade e tempo de execução, descrevendo desde as etapas de projeto, passando pela fabricação das peças e chegando à execução da obra.

Palavras-chave: TECNOLOGIA, PRÉ-FABRICADOS, SISTEMAS CONSTRUTIVOS.

PAULANI, Fernando. **A tecnologia das construções em pré-fabricados de concreto**. 2008. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco, Itatiba.

ABSTRACT

The progressive industrialization of construction processes in Brazil is an irreversible trend, where the current focus is a better planning of construction activities. The precast components industry has been experiencing important changes as well to cope with the place of the new market demands. Higher concern on aesthetics, smoother finishing elements, better developed fittings, special parts for composition with other construction systems, prebeam, preslab and cladding panels invading the conventional construction. Words like pinned connections, partially restrained connections, continuous structures, economic hollowcore panels, monolithic buildings after the erections, already make part of the precast components glossary, totally prepared to fit any kind of structural project with rationally, beauty and efficacy in the cost x benefit comparison to structural proposals. This work aims to present the construction technology of precast concrete components, in order to demonstrate the benefits of this kind of structure, such as agility, versatility, and execution time, describing from the project stages, to the manufacturing of parts to the execution of works.

Key words: TECHNOLOGY, PRECAST, CONSTRUCTIVE SYSTEMS.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FÓRMULAS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	
INTRODUÇÃO.....	15
1. PROJETO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO	16
1.1. Particularidades dos projetos de estruturas pré-fabricadas	16
1.2. Princípios e recomendações gerais	17
1.3. Análises estruturais	18
1.4. Forma dos elementos pré-fabricados	19
2. FABRICAÇÃO	21
2.1. Atividades envolvidas	22
2.2. Processos de execução de pré-fabricados	28
2.3. Controle de qualidade e inspeção	31
2.4. Fôrmas	32
2.5. Ancoragem da fôrma	34
2.6. Armadura	35
2.7. Armadura protendida.....	36
2.8. Adensamento	37
2.9. Aceleração do endurecimento e cura.....	37
2.10. Desmoldagem.....	38
2.11. Dispositivos auxiliares para içamento	38
3. TRANSPORTE	41
3.1. Carregamento dos veículos.....	44
3.2. Patologias decorrentes do transporte	44
4. PILARES	46
4.1. Cobrimento das armaduras e detalhamentos	47
4.2. Engaste no bloco.....	48
4.3. Parâmetros do concreto	49
4.4. Consoles	49
5. VIGAS	53

5.1. Vigas calhas protendidas	53
5.2. Vigas retangulares	55
5.3. Vigas "I"	55
5.4. Vigas de rolamento	56
5.5. Viga terça.....	57
5.6. Deformações	58
6. MONTAGEM.....	59
6.1. Equipamentos requeridos	59
7. VANTAGENS E DESVANTAGENS	62
7.1. Vantagens	62
7.2. Desvantagens.....	63
8. CONCLUSÃO.....	64
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fábrica Mecanizada	21
Figura 2.1.1 – Fluxogramas das etapas envolvidas na execução de pré-fabricados.....	22
Figura 2.1.2 – Área coberta para corte e dobra	23
Figura 2.1.3 – Silos e depósitos de matéria prima.....	23
Figura 2.1.4 – Armadura sendo transportada até a fôrma	24
Figura 2.1.5 – Balde de concreto sendo transportado até a fôrma.....	24
Figura 2.1.6 – Lançamento e adensamento do concreto.....	25
Figura 2.1.7 – Desmoldagem do elemento	26
Figura 2.1.8 – Área de estocagem dos elementos.....	27
Figura 2.2.1 – Ciclo de execução com fôrma móvel.....	28
Figura 2.2.2 – Pista de concretagem com 150m de extensão	29
Figura 2.4.1 – Detalhes diversos relativos à execução dos elementos	33
Figura 2.5.1 – Em destaque os elementos de ancoragem da fôrma.....	34
Figura 2.6.1 – Barra de aço soldada	35
Figura 2.7.1 – Esquema de pista de protensão com blocos independentes	35
Figura 2.11.1 – Exemplos de dispositivos internos para manuseio.....	38
Figura 2.11.2 – Exemplos de balancins para manuseio.....	39
Figura 3.1 – Esquema de veículos para transporte dos elementos pré-fabricados	40
Figura 3.2 – Carreta transportando coluna com 12,50m de comprimento	41
Figura 3.3 – Carreta especial transportando coluna com 16,70m de comprimento	42
Figura 3.2.1 – Peça danificada devido a patologias no transporte	44
Figura 4.1 – Detalhe de ligação do tubo de espera do pilar com a rede pluvial.....	45
Figura 4.1.1 – Exemplo de posicionamento de armadura no pilar	47
Figura 4.2.1 – Exemplo de ranhuras na base do pilar.....	47
Figura 4.4.1 – Console simples para viga I	49
Figura 4.4.2 – Console duplo para viga I	49
Figura 4.4.3 – Console com dente de Gerber	50
Figura 4.4.4 – Console para laje alveolar	51
Figura 5.1.1 – Detalhe da seção da viga calha “I”	52
Figura 5.1.2 – Detalhe da seção da viga calha “U”	53
Figura 5.1.3 – Detalhe da seção da viga calha “J”	53

Figura 5.2.1 – Ao fundo a viga retangular com dente de Gerber	54
Figura 5.3.1 – Detalhe da seção da viga “I” de cobertura	55
Figura 5.4.1 – No detalhe a viga de rolamento.....	56
Figura 5.5.1 – Detalhe da seção da viga Terça.....	57
Figura 6.1.1 – Lançamento das vigas de cobertura com auxílio de caminhão munck	59
Figura 6.1.2 – Lançamento das vigas terça com auxílio de caminhão munck	59
Figura 6.1.3 – Estrutura totalmente montada	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2.1 – Vantagens e desvantagens de execução com fôrma móvel comparada com pista de concretagem.....	30
Tabela 2.4.1 – Características das fôrmas em função do material utilizado	31
Tabela 2.4.2 – Estimativa do número de reutilizações das fôrmas.....	32
Tabela 3.1 – Valores das máximas cargas por eixo nas rodovias nacionais	43
Tabela 4.1.1 – Classes de agressividade ambiental	46

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1.....	19
Fórmula 2.....	44
Fórmula 3.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

M_{res} : momento resistente da seção

h : altura da seção transversal

g : peso próprio do elemento por unidade de comprimento

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

a/c: relação água/cimento

ARI: Alta Resistência Inicial

g : carga estática permanente no transporte.

g_e : carga estática equivalente.

β_a : coeficiente de ação dinâmica

CAA: Classe de Agressividade Ambiental

L_{eng} : comprimento do engastamento

h : maior dimensão da seção do pilar

f_{ck} : Resistência característica do concreto

f_{cj} : Resistência característica a “j” dias

MPa: Unidade de medida do sistema internacional

tf: Tonelada-força

cm²: Centímetro quadrado

m³: metro cúbico

kgf: Kilograma-força

INTRODUÇÃO

Mundialmente, as construções pré-fabricadas de concreto tomaram impulso após a segunda guerra mundial, devido à necessidade de reconstrução da Europa. Com a escassez de recursos, a racionalização dos componentes levou a modularidade, consolidando-se como forma mais viável e mais difundida para se promover a industrialização da construção, porém nessa época ainda sem flexibilidades arquitetônicas.

No Brasil, a primeira notícia que se tem de uma obra com grande utilização de pré-fabricados, refere-se à construção do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro pela empresa Christian-Nielsen da Dinamarca, em 1926.

Apesar das melhorias nas condições de trabalho e da qualidade que a pré-fabricação traz para as edificações, o emprego do concreto pré-fabricado no país ainda é relativamente baixo quando comparado a outros países mais desenvolvidos. Então, fica claro observar que a construção civil é considerada uma indústria atrasada comparando-a com outras áreas da industrialização.

Segundo EL DEBS (2000), o emprego da pré-fabricação aumenta o grau de desenvolvimento tecnológico e social do país, pois este acarreta maior oferta de equipamentos, valorização da mão-de-obra e exigências quanto à qualidade dos produtos.

Contudo, este trabalho tem como objetivo apresentar a tecnologia das construções em pré-fabricados de concreto, afim de se demonstrar os benefícios desse tipo de estrutura, tais como agilidade, versatilidade e tempo de execução. Portanto, serão apresentadas nos capítulos a seguir as técnicas construtivas para se obter sucesso no empreendimento.

1. PROJETO DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

De modo geral, as regras e processos de cálculo de um projeto de estrutura pré-fabricada seguem os mesmos critérios de um projeto de estruturas moldadas no local. Alguns cuidados devem ser tomados na elaboração do projeto, dando ênfase aos detalhamentos e especificações minuciosas tais como folgas e ligações estruturais, pois afinal esse sistema construtivo não permite ajustes nas dimensões de suas peças de última hora.

Desta maneira fica claro que a execução dos projetos de estruturas pré-fabricadas é mais trabalhosa, levando em conta todo o planejamento da construção e, considerando suas várias etapas de produção desde a execução de suas peças, o transporte e a montagem.

Conforme MELO, C.E.E (2004, p.381)

“As plantas gerais de montagem e os desenhos de obra são as únicas formas de comunicação entre o projetista e os executores da obra, e a responsabilidade de execução do projeto inclui a qualidade e a quantidade das informações contidas nos desenhos gerais.”

1.1 Particularidades do projeto de estruturas pré-fabricadas

Um projeto de estrutura pré-fabricada diferencia-se de um projeto de concreto moldado no local somente quanto à análise estrutural, em razão da necessidade de considerar outras situações de cálculo (desmoldagem, transporte, armazenamento e montagem) além da situação final da estrutura e também em virtude das ligações entre os elementos pré-fabricados que constituem a estrutura.

Cabe destacar que antes das ligações definitivas (montagem), os elementos devem ser verificados em virtude dessas situações transitórias.

Por sua vez, EL DEBS (2000, p.23)

“As ligações entre os elementos pré-fabricados constituem-se em uma das principais diferenças entre as estruturas formadas por elementos pré-fabricados e as estruturas de concreto moldado no local. A consideração das ligações no projeto das estruturas envolve sua análise e sua implicação no comportamento estrutural.”

Podemos destacar ainda dois tipos de ligações estruturais, as mais simples normalmente articulações que acarretam elementos mais solicitados à flexão e as mais complexas de serem executadas que são as ligações rígidas, que possibilitam a transmissão de momentos fletores com comportamento bem próximo ao das estruturas moldadas no local, esta última pela dificuldade de execução reduz uma das principais vantagens da pré-fabricação que é a rapidez da construção.

A concepção estrutural deve partir baseada nos aspectos construtivos e estruturais. No caso dos pré-fabricados, muitas vezes os aspectos construtivos preponderam sobre os estruturais, com isso são privilegiadas as facilidades de manuseio e transporte dos elementos, e as facilidades de montagem com a execução das ligações definitivas.

Como consequência do método executivo, nem sempre pode-se aplicar a concepção estrutural de uma estrutura moldada no local a uma estrutura pré-fabricada.

Outras situações peculiares são referentes às tolerâncias e folgas, inerentes a toda construção por montagem, juntamente com a necessidade do conhecimento de todas as etapas envolvidas na produção.

1.2 Princípios e recomendações gerais

Os princípios e recomendações gerais que servem como base para a elaboração de um projeto de estrutura pré-fabricada são:

a) Conceber o projeto da obra visando à utilização dos elementos pré-fabricados:

Tal projeto deve ser executado prevendo a iteração dos elementos pré-fabricados com elementos moldados no local, dessa maneira pode-se tirar proveito da potencialidade da pré-fabricação, aumentando vãos, alturas e cargas de utilização.

Dessa forma EL DEBS (2000, p.63), afirma que “no projeto de estruturas de concreto pré-fabricado devem ser levadas em conta as características favoráveis e desfavoráveis nas várias etapas da produção”.

Fica claro que a elaboração de projetos dessa maneira é mais complexa, pois estaria englobando o planejamento total da construção. No entanto, é dessa forma que se pode melhor aproveitar os recursos da pré-fabricação.

b) Resolver as iterações da estrutura com outras partes da construção:

No caso de se empregar a pré-fabricação, a previsão de iterações com outras partes da construção (hidráulica, esgoto, elétrica, águas pluviais, gás e ar-condicionado, etc...) é de suma importância e está diretamente atrelada ao sucesso da execução do projeto, pois as improvisações não são compatíveis com a pré-fabricação.

c) Minimizar o número de ligações:

Outro princípio importante que deve nortear o projeto é a minimização do número de ligações, tendo em vista a dificuldade de executar as ligações entre os elementos.

d) Minimizar o número de tipos de elementos:

Levando-se em conta que é um processo de fabricação na indústria, o projetista deve limitar as variações dos elementos, sempre visando a produção em série. Outro fator bastante importante é o de utilizar elementos que desempenham mais de uma função e com isso evitar gastos desnecessários e otimizando o projeto.

e) Utilizar elementos de mesma faixa de peso:

Este princípio está diretamente relacionado a racionalização da montagem, já que peças com diferentes faixas de peso, requerem a utilização de mais de um equipamento para montagem com capacidades de cargas diferentes.

1.3 Análises estruturais

Como os outros sistemas construtivos, no projeto de estruturas pré-fabricadas visa-se garantir a rigidez e a estabilidade da construção.

Comparando o sistema construtivo em questão com as estruturas de concreto moldado no local, esses aspectos merecem maior atenção devido a existência de ligações articuladas. Por essa razão, na iteração dos elementos deve-se tomar os devidos cuidados para garantir tais requisitos.

Pelos elementos poderem ser mais esbeltos ou também devido a existência de ligações articuladas, as estruturas de concreto pré-fabricado são mais susceptíveis a vibrações excessivas. Outro aspecto que também merece muita atenção é o colapso progressivo, também conhecido como ruína em cadeia.

No projeto e análise das estruturas formadas de elementos pré-fabricados, devem ser levados em conta alguns aspectos importantes, como o comportamento dos elementos isoladamente, as possíveis mudanças do esquema estático, a análise do comportamento da estrutura pronta, as incertezas na transmissão de forças nas ligações, os ajustes na introdução de coeficientes de segurança e as disposições construtivas específicas.

Por outro lado, a intensidade das solicitações nos elementos pode ser menor, comparada com as estruturas moldadas no local. Isso se deve ao fato de que parte da retração dos elementos já ocorreu antes mesmo de serem transformados em uma estrutura montada.

1.4 Forma dos elementos pré-fabricados

Ao iniciar um projeto de estrutura pré-fabricada tem se como base, sempre visar a diminuição do consumo os materiais e conseqüentemente o peso dos elementos, cuja variação pode ser melhor aplicada na seção transversal das peças. Portanto para os elementos submetidos a flexão, aliados com a resistência do concreto e o peso específico dos matérias, deve-se utilizar como base um cálculo relacionado ao peso do elemento através de um parâmetro “m”, cuja expressão é dada por:

$$m = \frac{\mu_{res}}{hg} \quad (1)$$

Onde:

μ_{res} = momento resistente da seção

h = altura da seção transversal

g = peso próprio do elemento por unidade de comprimento

Segundo EL DEBS (2000, p. 72), para reduzir o peso dos elementos procura-se aumentar o valor de “m” através do aumento do valor do rendimento da seção, relacionado com o consumo de material, resistência ou redução do peso específico.

Mesmo com todos esses parâmetros adotados, o peso dos elementos sempre ficará acima quando comparados com outros materiais como madeira e aço.

2. FABRICAÇÃO

A execução dos elementos em fábrica, de um modo geral, resume-se em um conjunto de operações racionalizadas, que necessitam de um cuidadoso planejamento e um rigoroso controle de qualidade.

A otimização dos processos de fabricação e o desenvolvimento de novas técnicas, são fatores a serem explorados quase que diariamente e que fazem a diferença na industrialização da matéria prima, juntamente com o layout da fábrica, que segundo as grandes empresas é um dos principais itens a serem estudados.

Em relação ao porte das indústrias e aos valores dos investimentos, as fábricas podem ser classificadas em 4 (quatro) categorias:

- Fabrica de produção artesanal;
- Fábrica de média mecanização;
- Fábrica de alta mecanização;
- Fábrica automatizada;

Fabrica de produção artesanal:

É dotada de uma central de concreto simples, formas simples, cobertura na área da fabricação, pórtico rolante, corte de aço por guilhotina, adensamento por vibração de imersão e cura natural (por aspersão ou imersão).

Fábrica de média mecanização:

Deve ter dosagem de concreto por peso, áreas cobertas para corte e dobra do aço e fabricação dos elementos, silos de matéria-prima, cura térmica, laboratórios, pontes rolantes e instalações de ar comprimido.

Fábrica de alta mecanização:

Por ser de empresas com melhor poder aquisitivo, dispõe de classificação de agregados, distribuição de concreto semi-automática, oficinas para corte e dobra de aço com equipamentos de solda, laboratórios e alguns equipamentos do caso anterior.

Fábrica automatizada:

Estas são praticamente raras, devido aos altos investimentos necessários. Caracterizam-se pela pouca mão de obra.

Quando é realizado um investimento dessa grandeza, chega a ter comando à distância, circuito fechado de TV, além dos equipamentos mais sofisticados citados no caso anterior.

Cabe salientar que não há relatos de existência de uma fábrica automatizada no Brasil.

A figura 2.1 mostra o layout de uma fábrica de alta mecanização, mais comuns nos dias de hoje.

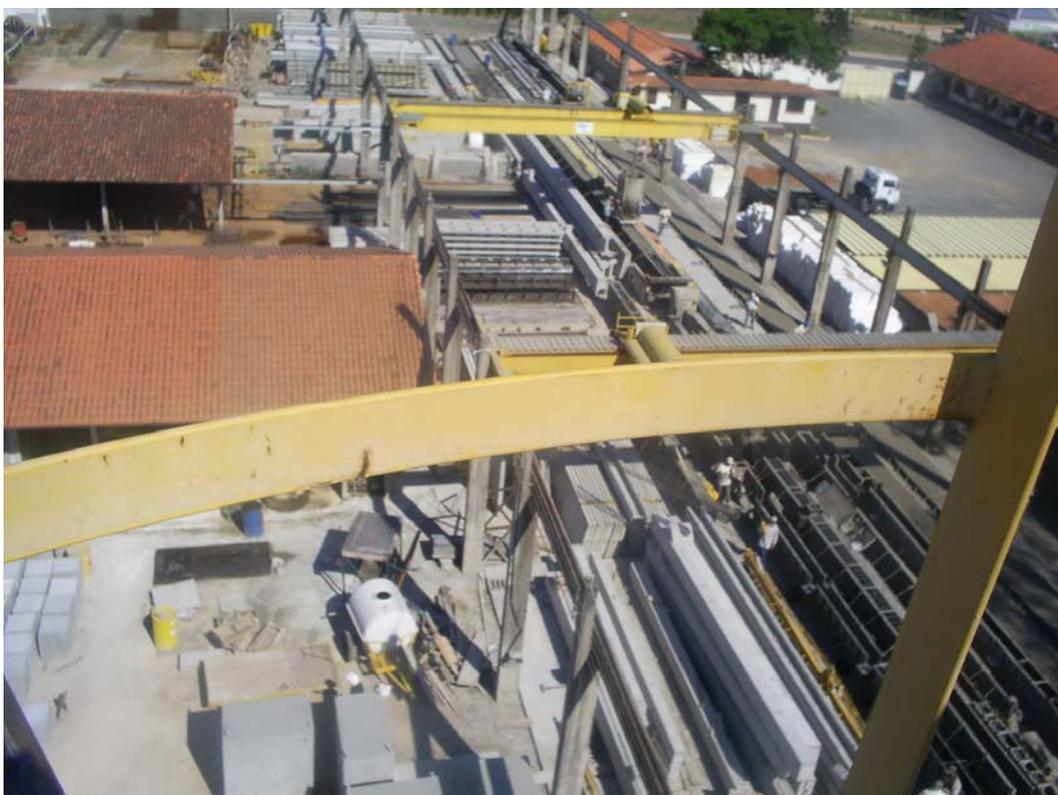


Figura 2.1 – Fábrica mecanizada.

Fonte: Autor.

2.1 Atividades envolvidas

Segundo EL DEBS (2000, p.33), para os elementos pré-fabricados, pode-se em linhas gerais, serem subdivididos em três fases de produção: atividades preliminares, execução e atividades posteriores (Figura 2.1.1).

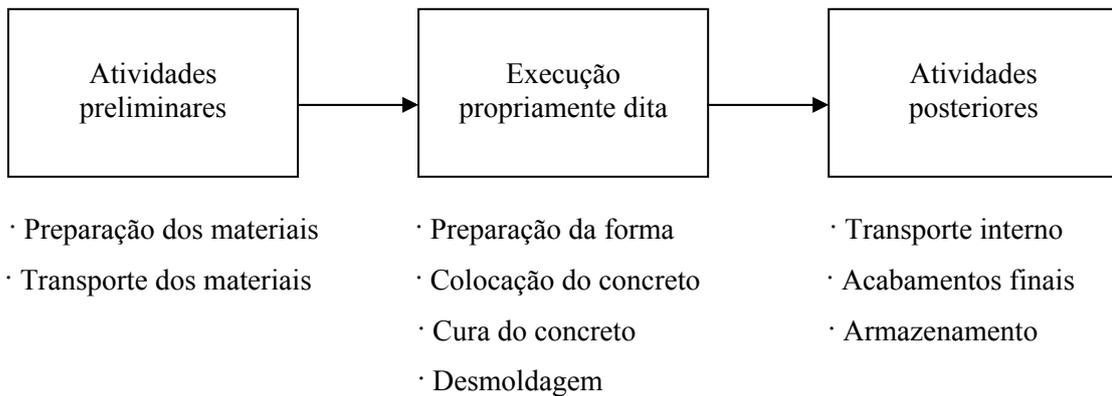


Figura 2.1.1 – Fluxogramas das etapas envolvidas na execução de pré-fabricados.

Fonte: EL DEBS, 2000.

As atividades preliminares podem ser divididas em duas fases, na primeira estão envolvidos serviços como preparação dos materiais, armazenamento de matéria-prima, dosagem e mistura do concreto e corte e dobra da armadura. Na segunda fase os serviços envolvidos são os de transporte da armadura e do concreto da usina até a fôrma a ser concretada, este último normalmente feito por meio mecânico.

Enfim as atividades ora mencionadas, ou seja, área para corte e dobra pode ser vista na figura 2.1.2, por outro lado, na figura 2.1.3 verifica-se silos e depósitos de matéria-prima, enquanto que na figura 2.1.4 nota-se a armadura sendo transportada e finalmente na figura 2.1.5 a peça sendo concretada.



Figura 2.1.2 – Área coberta para corte e dobra.

Fonte: Autor.



Figura 2.1.3 – Silos e depósitos de matéria-prima.

Fonte: Autor.



Figura 2.1.4 – Armadura sendo transportada até a fôrma.

Fonte: Autor.



Figura 2.1.5 – Balde de concreto sendo transportado até a fôrma.

Fonte: Autor.

Na execução dos elementos, os serviços são de limpeza da fôrma, aplicação de desmoldante, colocação da armadura, colocação de peças complementares (inserts ou nichos), lançamento e adensamento do concreto, e eventuais acabamentos. Em seguida inicia-se o período de cura e no dia seguinte na maioria dos casos é feita a desmoldagem do elemento, esta última atividade, quando for o caso, inclui a liberação da protensão (em certas situações é necessário retirar parcialmente a fôrma antes da liberação da protensão). A ilustração da figura 2.1.6 mostra o lançamento e adensamento do concreto, e a figura 2.1.7 a seqüência de desmoldagem do elemento.



Figura 2.1.6 – Lançamento e adensamento do concreto.

Fonte: Autor.



Figura 2.1.7 – Desmoldagem do elemento.

Fonte: Autor.

Após os serviços descritos acima são realizadas as atividades posteriores, estas por sua vez envolvem o transporte interno dos elementos até as áreas de acabamentos, onde são realizados pequenos reparos e as inspeções de conformidade da peça. Em seguida os elementos são transportados até as áreas de estocagem onde permanecem fazendo a cura e aguardando o envio a obra. Assim, a área de estocagem é vista na figura 2.1.8.



Figura 2.1.8 – Área de estocagem dos elementos.

Fonte: Autor.

2.2 Processos de execução de pré-fabricados

Os processos de execução dos elementos podem ser enquadrados em três tipos:

- execução com fôrma estacionária;
- execução com fôrma móvel (carrossel);
- execução em pista de concretagem;

No método de execução com fôrma estacionária, os trabalhos de execução dos elementos giram em torno da fôrma, que sempre estarão na mesma posição até o término das atividades.

Já no método de execução com fôrma móvel, também conhecida como carrossel, os processos executivos são totalmente opostos ao método anterior. Nesse método são as fôrmas que se deslocam até as equipes de preparação que ficam localizadas em diferentes pontos da fábrica.

Esse ciclo pode ser melhor ilustrado na Figura 2.2.1

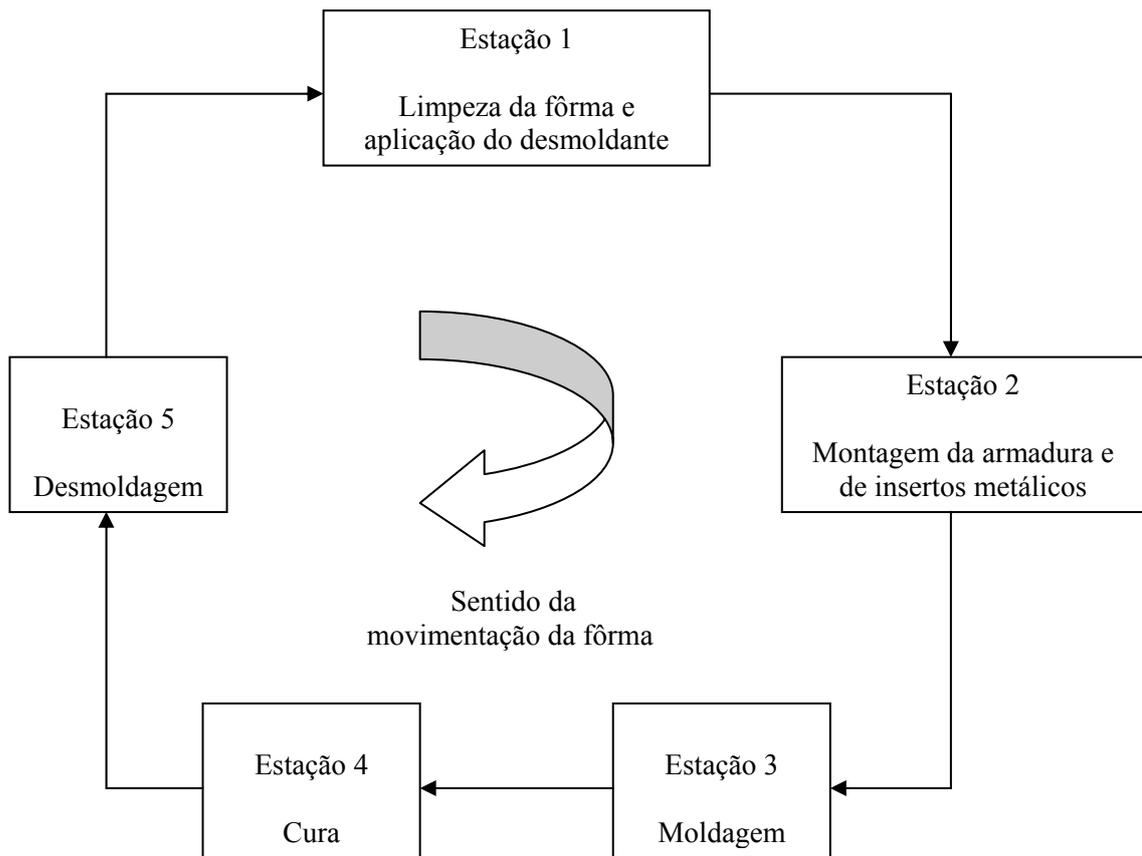


Figura 2.2.1. – Ciclo de execução com forma móvel.

Fonte: EL DEBS, 2000.

Na execução em pista de concretagem (figura 2.2.2), a produção dos elementos ocorre de maneira contínua, ou seja, os elementos são dispostos em uma linha de produção e são alimentados de forma seqüencial. Este método de execução é geralmente empregado a peças protendidas, mediante a pista de protensão.



Figura 2.2.2 – Pista de concretagem com 150m de extensão.

Fonte: Autor.

Cabe destacar ainda que ocorrem situações que não se enquadram nos métodos anteriores, como por exemplo um elemento que por sua forma arquitetônica deve ser executado em mais de uma etapa de concretagem.

Fica a cargo da empresa o processo de fabricação dos elementos. Este por sua vez, depende de vários fatores como, produtividade desejada, investimentos e especialização da mão de obra da produção.

Hoje já se sabe que os processos executivos que apresentam maiores ganhos na produtividade são com execução em pista de concretagem e execução com forma móvel. A Tabela 2.2.1 apresenta um comparativo entre esses dois métodos.

Tabela 2.2.1 – Vantagens e desvantagens de execução com forma móvel comparada com pista de concretagem.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> a) possibilidade de mudar a produção do tipo do elemento de um dia para o outro; b) produção simultânea de diferentes elementos; c) instalações físicas de menor área; d) menor consumo de energia no caso de cura térmica; e) mais adaptável a automação; f) possibilita o emprego de mão-de-obra menos qualificada; g) especialmente vantajosa para elementos não protendidos. 	<ul style="list-style-type: none"> a) maiores investimentos iniciais, especialmente em fôrmas; b) maior custo de manutenção; c) protensão medida por força e não por alongamento; d) desmoldagem e aplicação da protensão mais trabalhosas; e) maior desperdício de cordoalhas, especialmente em fôrmas curtas.

Fonte: EL DEBS, 2000.

2.3 Controle de qualidade e inspeção

O controle de qualidade e a inspeção dos elementos após o término das etapas de produção, transporte e montagem, deve proceder-se de maneira a garantir o cumprimento do projeto e suas especificações.

Na área de estocagem, os elementos devem ser separados por modelo de peças (colunas, vigas, lajes) e identificados individualmente, quando conveniente por lotes de produção. Devem ser registrados por escrito, a identificação de cada peça, data de fabricação, tipo de aço e de concreto utilizados além das assinaturas dos inspetores responsáveis pela produção do elemento.

Para estes processos devem ser utilizadas as especificações e os métodos de ensaio das Normas Brasileiras pertinentes (NBR 9062/1985, p. 35).

2.4 Fôrmas

Talvez estejamos falando do principal componente da industrialização, as fôrmas dos elementos são de fundamental importância no processo de fabricação, pois são elas que determinam a qualidade do produto e a produtividade do processo.

Destas qualidades são necessárias: estabilidade volumétrica, possibilidade de reutilização, fácil manejo, apresentar pouca aderência com o concreto, fácil desmoldagem, estanqueidade, versatilidade e transportabilidade.

Normalmente, utiliza-se para a fabricação de fôrmas os seguintes materiais: aço, madeira, concreto ou alvenaria e plástico reforçado com fibra de vidro. Os fatores que determinam a escolha do produto a ser utilizado para a confecção das fôrmas são: acabamento desejado, tolerância, dimensões das fôrmas e dos elementos, tipo de adensamento e cura e quantidade de reutilizações.

Na tabela 2.4.1 são apresentados as principais características das fôrmas.

Tabela 2.4.1 – Características das fôrmas em função do material utilizado.

Características	Aço	Madeira	Concreto	Plástico
Constância volumétrica	boa	ruim	boa	boa
Aderência	boa	regular	ruim	boa
Manuseio	boa	boa	ruim	boa
Possibilidade de transformação	boa	boa	ruim	ruim
Facilidade de transporte	boa	boa	ruim	boa

Fonte: EL DEBS, 2000.

Hoje, sabe-se que os materiais mais utilizados na confecção de fôrmas são aço e madeira respectivamente. As fôrmas que apresentam menor custo são as de madeira, porém apresentam um baixo número de reutilizações além de necessitarem de maior manutenção. Já as formas de aço podem ser reutilizadas mais vezes, mas são bem mais caras.

A tabela 2.4.2 ilustra o número de reutilizações para os tipos de materiais citados.

Tabela 2.4.2 – Estimativa do número de reutilização das fôrmas.

Tipos de material	Número de reutilizações
Madeira não tratada	
⇒ sem tratamento térmico	40-80
⇒ com tratamento térmico	20-30
Madeira tratada ¹	
⇒ sem tratamento térmico	80-120
⇒ com tratamento térmico	30-80
Madeira revestida de chapa ²	
⇒ sem tratamento térmico	80-150
⇒ com tratamento térmico	30-80
Concreto	100-300
Plástico reforçado com fibra de vidro	80-400
Fôrmas de aço desmontáveis	500-800
Fôrmas de aço não desmontáveis	800-1200
1. Inclui o uso de chapas de madeira compensada.	
2. Revestimento de chapa de aço de 0,3 a 0,5 mm de espessura	

Fonte: EL DEBS, 2000.

Sempre visando facilitar a produção dos elementos (figura 2.4.1), merecem destaque os seguintes itens de projeto: devem ser previstas a inclinação das nervuras de no mínimo 1:10 para madeira e 1:15 para aço, devem ser evitados cantos vivos que estarão sujeitos a danos durante o manuseio e montagem e, bordas especiais com ângulos agudos.

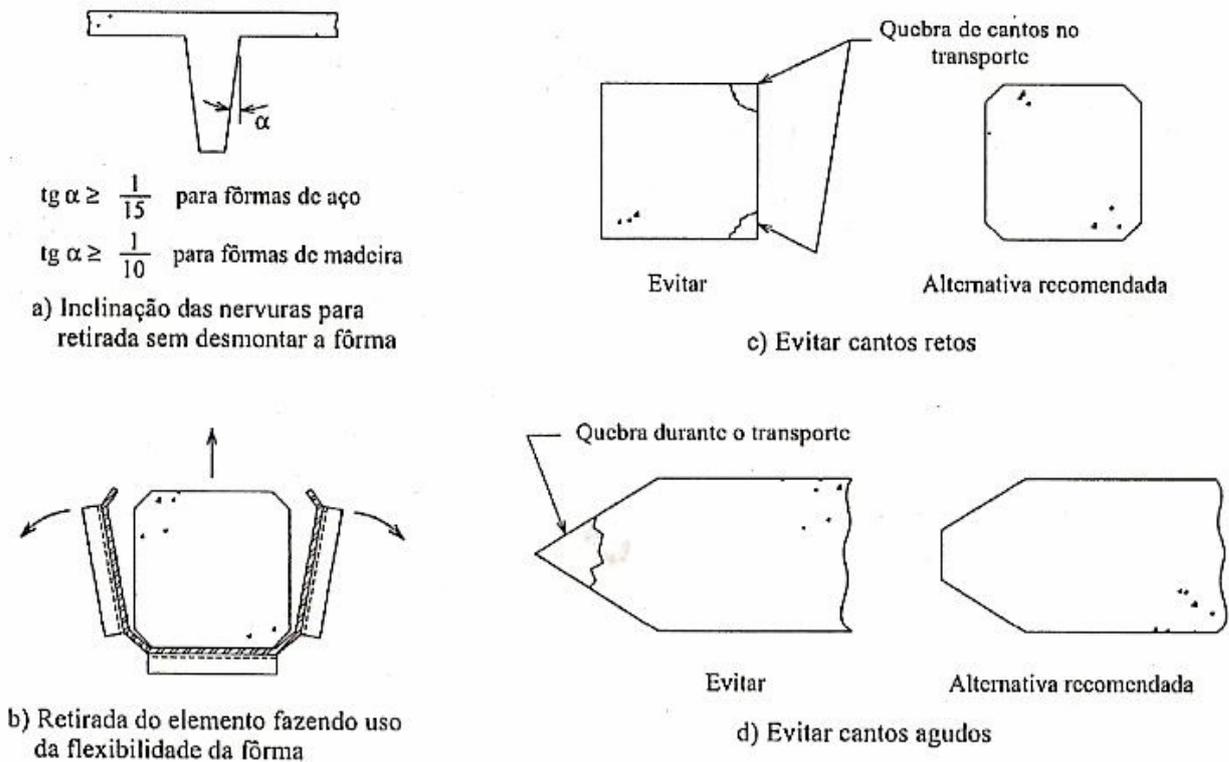


Figura 2.4.1 – Detalhes diversos relativos à execução dos elementos.

Fonte: EL DEBS, 2000.

2.5 Ancoragem da fôrma

Um importante fator na fabricação dos elementos é a ancoragem da fôrma (figura 2.5.1), pois estas devem ser devidamente estruturadas, de maneira a resistir os esforços resultantes durante as atividades de concretagem, adensamento e desmoldagem.



Figura 2.5.1 – Em destaque os elementos de ancoragem da fôrma.

Fonte: Autor.

2.6 Armadura

Os serviços de armação dos elementos pré-fabricados são basicamente os mesmos de uma estrutura moldada no local. Devido à produção em série e o fato das operações serem racionalizadas, necessitam de um local apropriado e devidamente equipado, fator este que reduz perdas e tempo de execução.

Tendo em vista que é um processo de industrialização, as áreas de montagem da armadura, são dotadas de equipamentos para corte e dobra, com o menor ou maior grau de automatização. As empresas melhores estruturadas são dotadas de equipamentos para retificação de fios quando o fornecimento do aço é em bobina. Podemos destacar também o emprego da solda nas barras de aço (figura 2.6.1), caso este aplicado em situações que os elementos ultrapassem o comprimento das barras de aço.



Figura 2.6.1 – Barra de aço soldada.

Fonte: Autor.

2.7 Armadura Protendida

Nos casos onde as peças são executadas no sistema de protensão, geralmente utilizam-se pistas de protensão para execução de vários elementos com blocos de reação independentes. A figura 2.7.1 ilustra em esquema de pista de protensão.

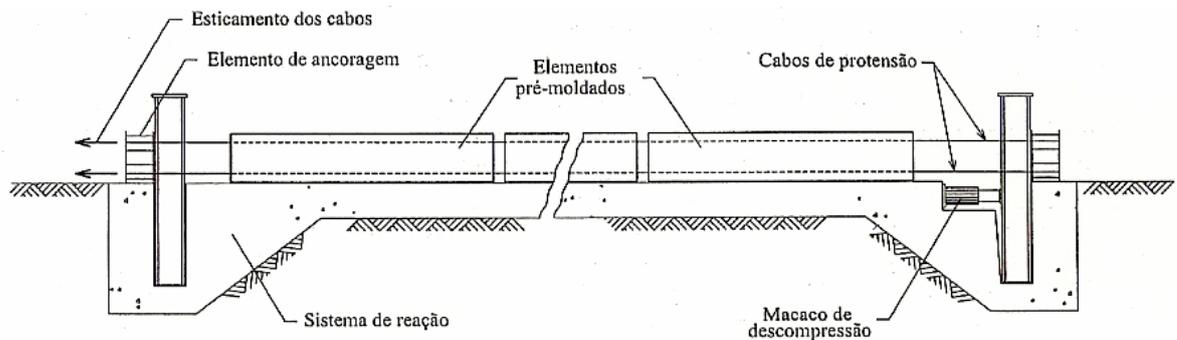


Figura 2.7.1 – Esquema de pista de protensão com blocos independentes.

Fonte: EL DEBS, 2000.

Cabe salientar o emprego de armaduras pós-tração, mais utilizadas em vigas de pontes, solidarização de segmentos pré-fabricados e ligações entre os elementos no local de utilização.

2.8 Adensamento

Por se tratar de pré-fabricação, geralmente se utiliza concreto de resistência mais alta comparado as estruturas moldadas no local. Portanto torna-se comum a utilização de concreto com menor relação a/c (água/cimento) e menores índices de consistência. Em razão disto, é necessário um maior cuidado para adensar adequadamente, de forma a garantir a qualidade do concreto, uma vez que essa atividade tem forte influência na confecção do elemento.

As principais maneiras de adensamento do concreto são: vibração, prensagem, vácuo e centrifugação. Em alguns casos, se faz necessário à combinação de dois processos de adensamento como exemplo vibração e prensagem, empregadas em tubos de concreto e painéis, denominada vibro-laminação.

2.9 Aceleração do endurecimento e cura

As maneiras possíveis de acelerar o endurecimento do concreto são: utilização de cimento de alta resistência inicial (ARI) e aumentar a temperatura ou ainda a utilização de aditivos.

Por ser um processo industrializado, torna-se indispensável a adesão de algum método, uma vez que procura-se sempre liberar a fôrma o mais rápido possível e conseqüentemente aumentar a capacidade produtiva.

Podemos destacar que no método do aumento da temperatura, que atua acelerando a velocidade das reações químicas entre o cimento e a água, deve-se tomar alguns cuidados como o perigo da perda de água necessária para a hidratação do cimento, devido a vaporização e ao perigo de elevados gradientes térmicos provocadores de microfissuração e conseqüentemente perda de água do concreto.

Vale salientar que ultimamente a adição de aditivos vem crescendo bastante pelo fato de o mercado atual apresentar produtos sem cloreto de cálcio, que em tempos anteriores foi apontado como grande causador da corrosão na armadura.

A cura propriamente dita pode ser feita das seguintes maneiras: cura por aspersão, método na qual as superfícies expostas são mantidas úmidas, cura por imersão onde os elementos são colocados em tanques de água. A cura térmica consiste em aumentar a temperatura do concreto e a cura com película impermeabilizante corresponde a aplicar pinturas que impeçam a saída de água pela superfície exposta.

2.10 Desmoldagem

O processo de desmoldagem depende diretamente do material utilizado na confecção da fôrma, da inclinação das nervuras e do desmoldante utilizado, que determina a aderência entre o concreto e a fôrma.

A NBR 9062 (1985, p. 33) afirma que “o projeto e a execução das fôrmas devem atender todas as condições para fácil desmoldagem sem danificar o elemento”.

Por outro lado, a eficiência do processo também diz que as fôrmas devem ter canto chamfrados ou arredondados, com ângulos de saída previstos e a livre remoção das laterais caso seja necessário.

A desmoldagem do elemento sempre é realizada através de dispositivos de içamento, com possibilidades de ocorrer a utilização de macacos hidráulicos ou a ar comprimido.

2.11 Dispositivos auxiliares para içamento

Os elementos pré-fabricados estão sujeitos a movimentação desde a desmoldagem até a montagem. Portanto se faz necessário alguns equipamentos e dispositivos auxiliares para içamento, exceto os elementos de pequeno porte e de pouco peso que são movimentados manualmente.

Estes dispositivos podem ser divididos em internos e externos. Os dispositivos internos ilustrados na figura 2.10.1, podem ser dos seguintes tipos: laços ou chapas chumbadas, orifícios, laços ou argolas rosqueadas posteriormente e dispositivos especiais. O laços chumbados são os mais usados, porém tem de ser cortados posteriormente e suas pontas tratadas contra corrosão.

Os dispositivos externos podem ser dos seguintes tipos: balancins, prensadores transversais, braços mecânicos e ventosas. Os tipos mais comuns são os balancins (figura

2.11.2), cuja sua função é reduzir os esforços solicitantes introduzidos nas situações transitórias.

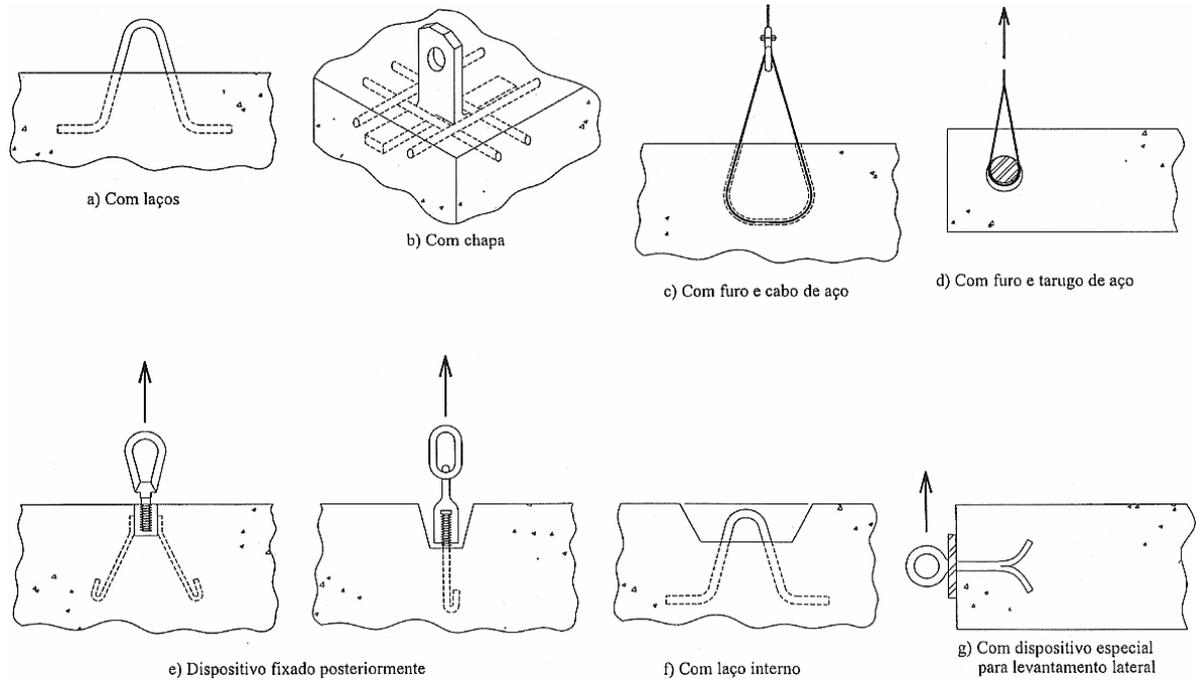


Figura 2.11.1 – Exemplo de dispositivos internos para manuseio.

Fonte: EL DEBS, 2000.

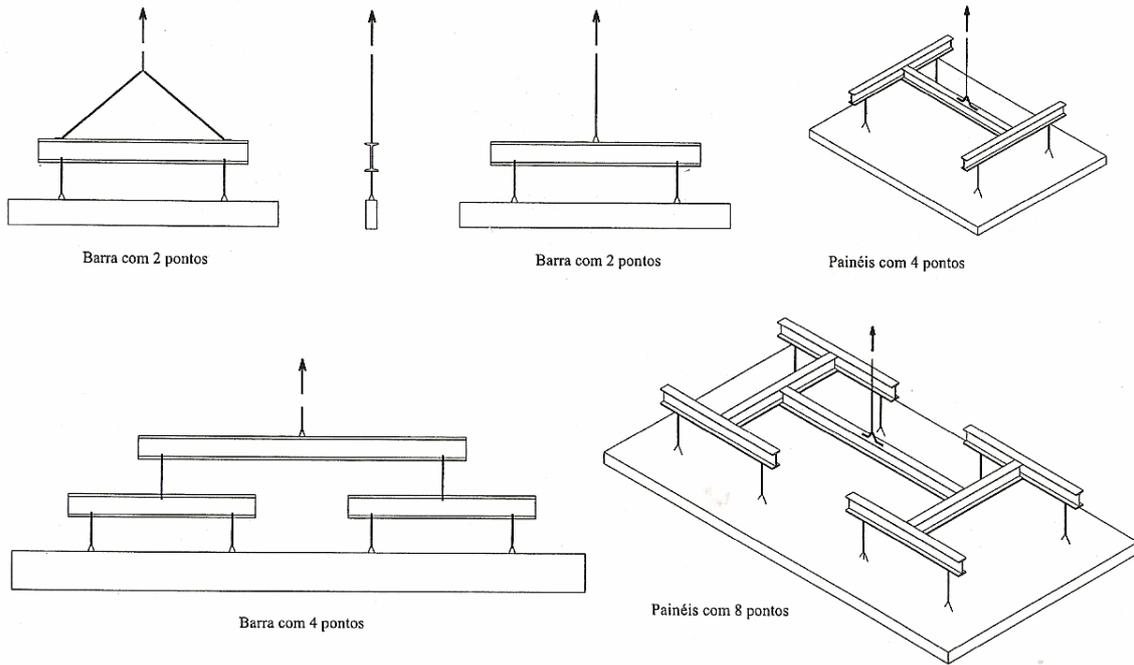


Figura 2.11.2 – Exemplo de balancins para manuseio.

Fonte: EL DEBS, 2000.

3. TRANSPORTE

Considerando que os elementos são executados em fábrica, o transporte refere-se ao traslado destes elementos da indústria ao local de montagem.

De certo modo a posição de transporte das peças deve ser a mesma do armazenamento. Deve-se utilizar dispositivos de apoio como cavaletes, caibros ou vigotas, constituídos ou revestidos de material suficientemente macio para não danificar as peças.

Considerando que o transporte pode ser apenas feito através das rodovias, o deslocamento das peças deve ser feito por caminhões, carretas e carretas especiais também conhecidas como extensivas, caso este só aplicado a peças especiais com o comprimento elevado (figura 3.1).

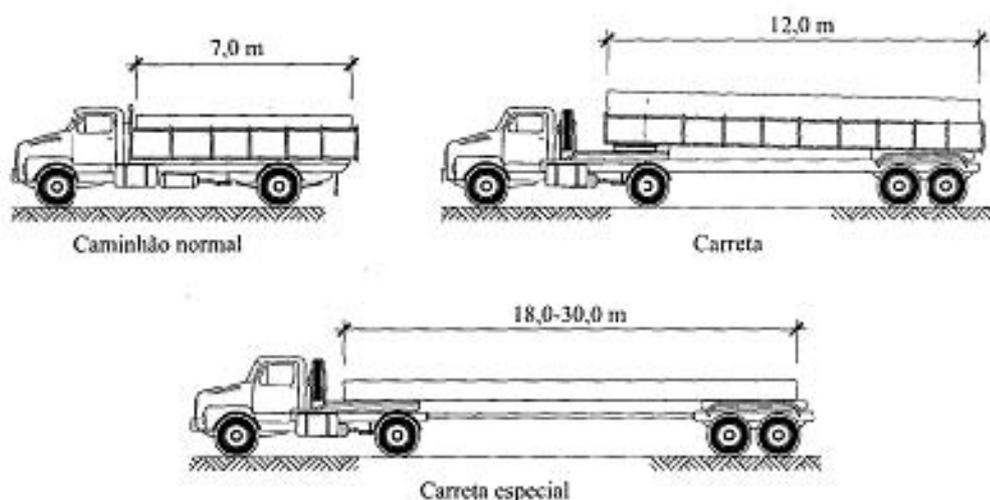


Figura 3.1 – Esquema de veículos para transporte dos elementos pré-fabricados.

Fonte: EL DEBS, 2000.

As limitações que possam ocorrer nesta etapa são decorrentes dos gabaritos de transporte, o comprimento das peças, o peso dos elementos e principalmente à distância a percorrer.

O principal problema em geral é a obediência aos gabaritos, onde se recomenda obedecer às limitações de 2,50m na largura e 4,50m na altura. Dimensões bem maiores podem ser e são empregadas constantemente, mas devem ser verificadas as condições para tal, como consulta ao órgão e/ou concessionária responsável pelas vias de tráfego a serem percorridas, equipamentos e escoltas necessárias para garantir a segurança dos demais usuários da rodovia e principalmente a acessibilidade, uma vez que várias obras ficam impossibilitadas ao uso dos

pré-fabricados de grande porte. Geralmente quando ocorre esta última condição, existem apenas duas soluções a serem tomadas, a primeira delas é diminuir o comprimento das peças e conseqüentemente alterar-se o projeto, a outra é a fabricação do elemento no canteiro de obras, neste caso ele deixa de ser um pré-fabricado e passa a ser um pré-moldado, nome este que se dá a elementos executados in loco.

Quanto ao comprimento, pode-se transportar elementos de até 30m, sendo este um valor de referência para a indústria de pré-fabricados, em certos casos este valor pode chegar aos 40m ou mais. Na figura 3.2 pode-se ver um exemplo de carreta com 12,50m de comprimento, enquanto que na figura 3.3 o transporte de uma coluna com 16,70m.



Figura 3.2 – Carreta transportando coluna com 12,50m de comprimento.

Fonte: Autor.



Figura 3.3 – Carreta especial transportando coluna com 16,70m de comprimento.

Fonte: Autor.

Em relação à distância máxima de transporte viável, é difícil estabelecer valores, pois os custos dependem dos mais variados fatores e circunstâncias. Segundo estudos, em situações normais sabe-se que os valores indicados para os custos de transporte são de 5% a 15% do custo total do empreendimento.

Segundo EL DEBS (2000, p. 55), quanto ao peso devem ser satisfeitas as limitações de carga por eixo do transporte rodoviário, estabelecidas pela chamada “lei da balança”, cujos valores são indicados na tabela 3.1, que destaca os valores máximos de cargas por eixo em rodovias nacionais e que valem para o caso dos pré-fabricados de concreto.

Tabela 3.1 – Valores das máximas cargas por eixo nas rodovias nacionais.

Situação	Carga por eixo
Eixo isolado com 2 pneus ¹	50 KN (5 tf)
Eixo isolado com 4 pneus ¹	100 KN (10 tf)
Conjunto de 2 ou 3 eixos com 4 pneus por eixo ²	85 KN (8,5 tf)
1. Eixo isolado – distância entre eixos superior a 2,00 m. 2. Conjunto de eixos – distância entre eixos de 1,20 a 2,00m.	

Fonte: EL DEBS, 2000.

3.1 Carregamento dos veículos

O carregamento dos veículos deve ser feito levando-se em conta as solicitações dinâmicas e garantindo-se as posições e condições de apoio estipuladas em projeto.

Em casos que não pôde ser feita uma análise dinâmica do elemento, a solicitação dos esforços pode ser calculada através do coeficiente de amplificação dinâmica, dada pela expressão:

$$\text{mín. } g_e = \beta_a \cdot g \quad (2)$$

Onde:

g = carga estática permanente no transporte.

g_e = carga estática equivalente.

β_a = coeficiente de ação dinâmica

3.2 Patologias decorrentes do transporte

Algumas patologias podem ocorrer nos elementos nessa situação transitória no percurso da fábrica até o canteiro de obras. Podemos destacar alguns dos principais problemas devido a essa etapa: fissuração, impacto e queda, este último na maioria das situações compromete totalmente a qualidade do elemento.

Segundo a NBR 9062 (1985, p. 34), “os elementos dispostos em uma ou mais camadas devem ser devidamente escorados para impedir tombamentos e deslizamentos longitudinais e transversais durante as partidas, freadas e trânsito de veículo.”

Recomenda-se também a proteção da superfície de concreto em contato com os cabos e correntes de travamento ou qualquer outro dispositivo auxiliar para que não haja dano à peça.



Figura 3.2.1 – Peça danificada devido a patologias no transporte.

Fonte: Autor.

4. PILARES

Os pilares têm em sua principal característica a complexidade do elemento e a dificuldade da execução, tanto nas definições de projeto quanto na fabricação. Seus detalhes construtivos a exemplo dos demais elementos, são incorporados ao projeto individual e conseqüentemente são as peças menos padronizadas do método construtivo.

Devido a essa peculiaridade do elemento, seus consoles são de formatos muito recortados, fator esse que acarreta no modelo de peça com maior diferença geométrica e sua confecção acaba sendo quase que artesanal.

Segundo MELO, C.E.E (2004, p. 199), “a desejável integração dos pilares com o sistema de águas pluviais (figura 4.1), torna o pilar um ponto crítico na interface de apoio das vigas-calhas, região onde ocorrem a maioria das patologias encontradas numa obra em que se emprega os pré-fabricados”.

De certo modo não existe uma medida padronizada, mas é prudente não se adotar seções menores que 20cm, devido a outras funções que a peça recebe num todo e comprimento maiores que 24m, devido as limitações e patologias conseqüentes do transporte. Caso o empreendimento necessite de um pilar com comprimento maior que o citado, este por sua vez deve ser executado no local, tendo em vista os elevados custos com mobilizações.



Figura 4.1 – Detalhe de ligação do tubo de espera do pilar com a rede pluvial.

Fonte: Autor.

4.1 Cobrimento das armaduras e detalhamentos

O cobrimento das armaduras é definido pelo projetista, que se baseia em informações definida pela CAA (classe de agressividade ambiental) descrita pela NBR 6118/2003, conforme detalha a tabela 4.1.

Tabela 4.1.1 – Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana1), 2)	Pequeno
III	Forte	Marinha1)	Grande
		Industrial1), 2)	
IV	Muito Forte	Industrial1), 3)	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (sala, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118, 2003.

Como todo elemento de montagem, os pilares tem suas tolerâncias e estas são diminuídas para $AC=5\text{mm}$, devido ao grande controle tecnológico utilizado na fabricação. Por não serem peças protendidas, a NBR 9062 (1985, p.21) diz que seu cobrimento mínimo varia de 2cm a 3cm de acordo com a classe de agressividade.

Para o detalhamento das armaduras, adota-se “feixe de barras” (figura 4.1.1) posicionado nos cantos dos pilares, uma vez que tende a se favorecer o caminhamento do tubo de águas pluviais. Diferentemente de outros métodos, na base do pilar não é necessário se realizar os ganchos de ancoragem com os blocos de fundação.

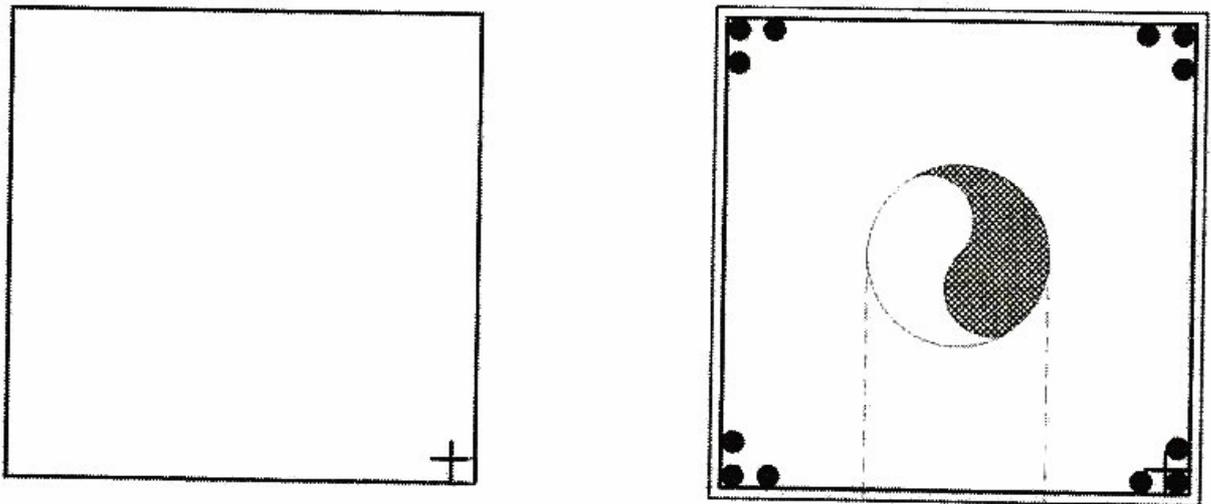


Figura 4.1.1 – Exemplo de posicionamento de armadura no pilar.

Fonte: EL DEBS, 2000.

4.2 Engaste no bloco

Os pilares tem em sua base algumas ranhuras utilizadas para facilitar os procedimentos de instalação e solidificação, garantindo assim o perfeito engastamento entre pilar/bloco (figura 4.2.1), uma vez que o elemento de fundação também tem a superfície do colarinho rugosa.

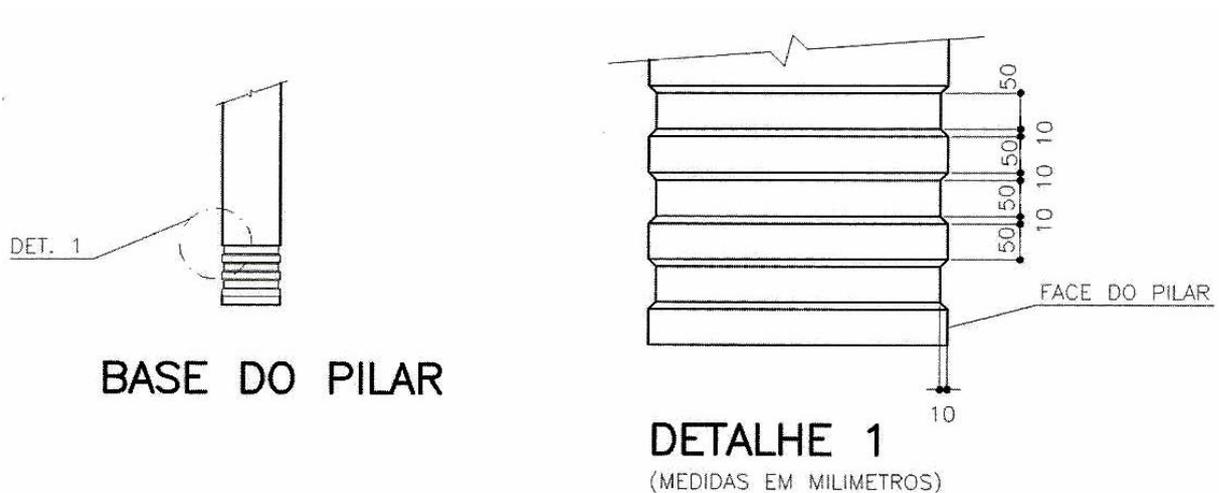


Figura 4.2.1 – Exemplo de ranhuras na base do pilar.

Fonte: EL DEBS, 2000.

Nestas condições, o engastamento da base deve ser reduzido em 20%, obtendo-se a equação geral:

$$L_{\text{eng}} \geq 0,8 \times 2 \times h \quad (3)$$

Onde:

L_{eng} = comprimento do engastamento

h = maior dimensão da seção do pilar

4.3 Parâmetros do concreto

MELO, C.E.E (2004, p. 202) afirma que para o concreto do pilar, deve-se utilizar a resistência do concreto de:

- $f_{ck} \geq 40$ MPa;
- fator $a/c \leq 0,45$;
- consumo mínimo de cimento de 285 kgf/m^3 ;
- módulo de elasticidade secante $E_{\text{sec}} \geq 1.800.000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $f_{cj} \geq 21$ MPa para 24 horas;
- $f_{cj} \geq 27$ MPa para a data mínima para transporte.

4.4 Consoles

São complementos dos pilares que tornam seu detalhamento mais complexo e geralmente é o local que apresenta maior porcentagem de problemas. Estes podem ser de dois tipos, simples ou duplos.

a) Console trapezoidal para viga I:

Para apoiar as vigas de seção I, os consoles são confeccionados geralmente na largura do pilar (figura 4.4.1 e figura 4.4.2), tendo na sua base de contato com a viga 30cm, com 20cm de altura constante e um trecho inferior inclinado a 45° .



Figura 4.4.1 – Console simples para viga I.

Fonte: Autor.



Figura 4.4.2 – Console duplo para viga I.

Fonte: Autor.

- b) Console retangular para vigas retangulares ou em seção I com apoio em dente de Gerber:

São geralmente utilizadas em locais onde tende-se a esconder os consoles por motivos arquitetônicos e estruturais, geralmente são de menor largura comparado ao pilar, e as demais dimensões mínimas de 25cm e seu detalhe depende da intensidade da carga.

A figura 4.4.3 ilustra uma das situações onde são utilizados estes consoles.



Figura 4.4.3 – Console com dente de Gerber.

Fonte: Autor.

- d) Console para laje alveolar:

Geralmente estes consoles são retangulares, tendo suas maiores dimensões na área em que estará em contato com a laje.

A figura 4.4.4 mostra uma situação onde estes consoles foram indispensáveis.



Figura 4.4.4 – Console para laje alveolar.

Fonte: Autor.

e) Console complementar:

Só são usados para aumentar a área de apoio em casos que por diversos fatores estes foram comprometidos.

5. VIGAS

As vigas são os elementos mais bem estudados dentro do cálculo estrutural, aos quais ao aplicar as devidas cargas, sofrem flexão. Tratando-se de pré-fabricação, as vigas podem ser armadas ou protendidas e suas formas variam em retangulares e formatos “I” ou “T”.

Na estrutura pré-fabricada as vigas devem ter a maior repetitividade possível para a máxima racionalização e facilidade de execução. Estas por sua vez devem ser isentadas de detalhes construtivos, transportando-os para os pilares.

As vigas protendidas são produzidas em pistas e tem limitadas variações de seção. Já as vigas armadas podem apresentar maior variação em suas dimensões, mas deve-se adotar sempre medidas múltiplas de 5cm na altura e mínimo de 20cm na largura.

5.1 Vigas calhas protendidas

As vigas calhas fazem parte do sistema de captação de águas pluviais, apresentando formatos “U”, “I” ou “J”.

As vigas calhas “I” (figura 5.1.1) geralmente são protendidas, para que a flecha seja minimizada, fator esse que impedirá a retenção de água dentro da calha.

Deve-se adotar para a confecção dos elementos concreto $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$ e para a liberação da protensão $f_{cj} \geq 21\text{MPa}$.

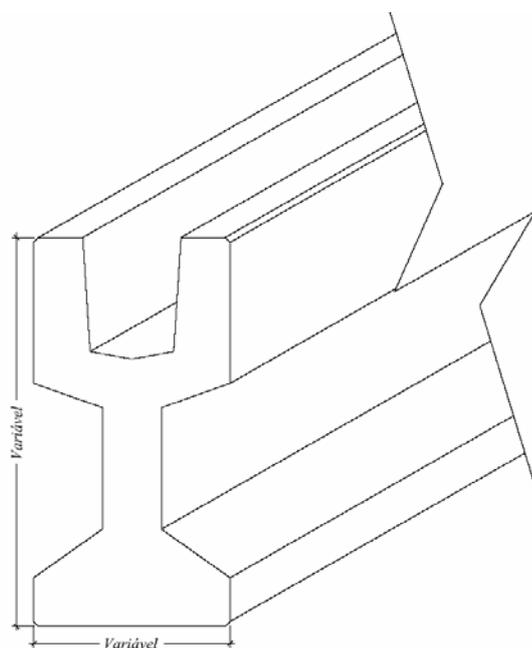


Figura 5.1.1 – Detalhe da seção da viga calha “I”.

As vigas calhas “U” (figura 5.1.2) preferencialmente devem ser protendidas em função da esbeltez do elemento, de maneira a visar a diminuição da flecha. Nos casos em que elas são armadas deve-se adotar menores vãos.

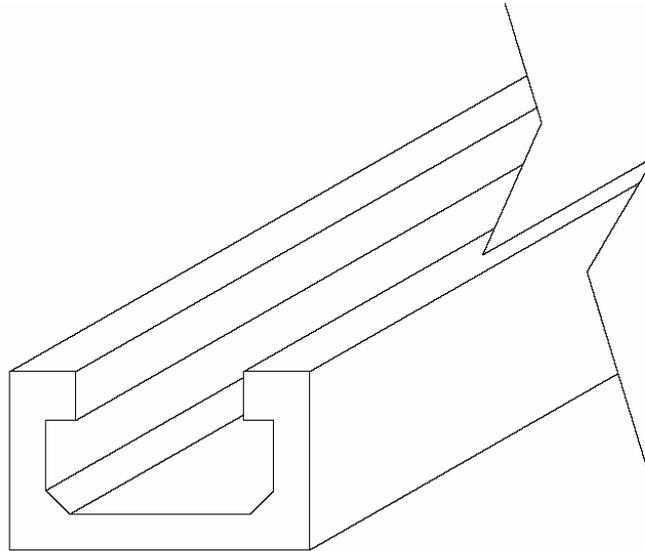


Figura 5.1.2 – Detalhe da seção da viga calha “U”.

Fonte: Autor.

As vigas calhas “J” (figura 5.1.3) quase sempre são protendidas, fator esse que se dá devido ao painel acoplado em sua seção que servirá como elemento de fachada.

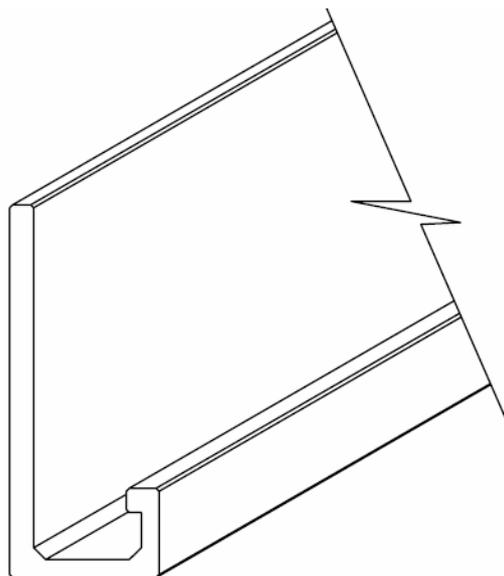


Figura 5.1.3 – Detalhe da seção da viga calha “J”.

Fonte: Autor.

5.2 Vigas retangulares

As vigas retangulares podem apresentar qualquer seção, mas é prudente sempre adotar uma “seção-padrão”, buscando viabilizar a fabricação.

Para a fabricação dos elementos, MELO, C.E.E (2004, p. 314) diz que deve-se adotar para a fabricação $f_{ck} \geq 35$ MPa e para a liberação da desforma deve-se utilizar $f_{cj} \geq 21$ MPa.

Geralmente, as vigas retangulares apresentam dente de Gerber (figura 5.2.1) e para o apoio de sua base sobre o console do pilar deve-se utilizar neoprene.



Figura 5.2.1 – Ao fundo a viga retangular com dente de Gerber.

Fonte: Autor.

5.3 Vigas “I”

As vigas de seção “I” podem apresentar limitadas variações na seção de acordo com o vão exigido, por sua vez na fabricação deve-se utilizar concreto $f_{ck} \geq 40$ MPa e $f_{cj} \geq 22$ MPa para a liberação da protensão.

A figura (5.3.1) mostra uma viga de seção “I”.

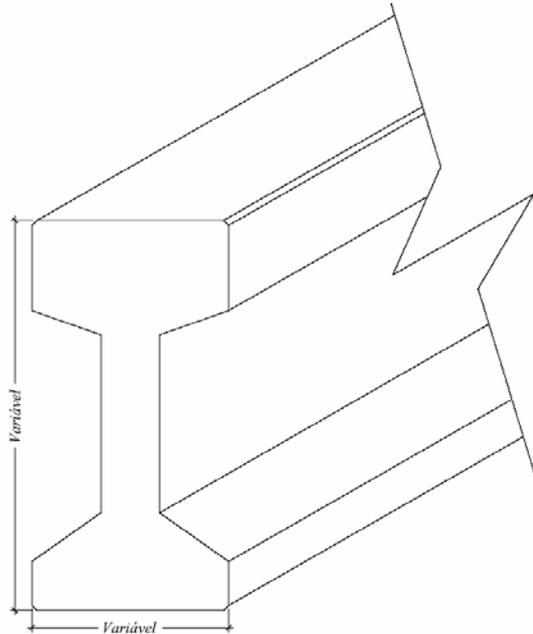


Figura 5.3.1 – Detalhe da seção da viga “I” de cobertura.

Fonte: Autor.

5.4 Vigas de rolamento

As vigas de rolamento (figura 5.4.1) são utilizadas para apoio e fixação do trilho da ponte rolante e apresentam basicamente o mesmo formato da viga “I”, porém com algumas adaptações em sua parte superior como por exemplo o aumento da massa, que se dá devido a grande carga que o elemento estará sujeito a receber.

Para sua fabricação deve-se utilizar concreto $f_{ck} \geq 40$ MPa e $f_{cj} \geq 22$ MPa para a liberação da protensão.



Figura 5.4.1 – No detalhe a viga de rolamento.

Fonte: Autor.

5.5 Viga Terça

As vigas terças são empregadas em obras que as telhas de cobertura geralmente não são de concreto pré-fabricado, ou seja, a cobertura do empreendimento pode ser em um material mais leve do que o citado acima e que admite menores vãos.

Estas por sua vez, se forem em concreto tem seção “T” (figura 5.5.1) em função de ser o apoio das telhas de cobertura e pela sua esbeltez. Na sua fabricação deve-se utilizar concreto $f_{ck} \geq 40$ MPa e $f_{cj} \geq 22$ MPa para a liberação da protensão.

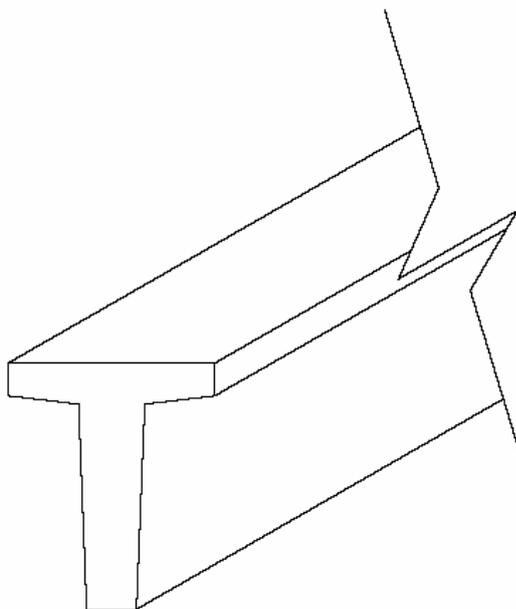


Figura 5.5.1 – Detalhe da seção da viga Terça.

Fonte: Autor.

5.6 Deformações

Para a definição a aceitação do cálculo da peça, a verificação da flecha é utilizada como parâmetro, uma vez que as variações de temperatura, de cura e tempo de alívio (idade da peça na introdução da força de protensão) são variáveis no processo de produção. Em função disso não é possível se prever no projeto os parâmetros exatos para a determinação da contra-flecha proveniente da protensão.

6. MONTAGEM

Os trabalhos de montagem devem ser objeto de um rigoroso planejamento, no qual deve ser definida antecipadamente a seqüência de montagem do empreendimento. Essas situações adversas devem ser consideradas no projeto, de tal maneira a se evitar que os elementos sofram solicitações mais críticas do que as previstas.

A etapa de montagem assim como as outras apresenta particularidades conforme o tipo de elemento, estabelecendo assim alguns cuidados especiais como içamento e escoramentos provisórios.

Outra precaução que se deve tomar antes do início da montagem é a verificação da fundação em relação à precisão dimensional, uma vez que, a estrutura é objeto de pequenas tolerâncias de medida.

6.1 Equipamentos requeridos

A montagem da estrutura se constitui em uma série de operações governadas basicamente pelo equipamento de montagem, conforme ilustra as figuras 6.1.1, 6.1.2 e 6.1.3 Este por sua vez tem sua escolha influenciada por diversos fatores como:

- pesos, dimensões e raios de levantamento das peças mais pesadas e maiores;
- número de levantamento a serem feitos e a freqüência das operações;
- mobilidade requerida, condições de campo e espaço disponível;
- necessidade de transportar os elementos a serem erguidos;
- necessidade de manter os elementos no ar por longos períodos;
- condições topográficas de acesso;
- disponibilidade e custo do equipamento.



Figura 6.1.1 – Lançamento das vigas de coberturas com auxílio de caminhão munck.

Fonte: Autor.



Figura 6.1.2 – Lançamento das vigas terça com auxílio de caminhão munck.

Fonte: Autor.



Figura 6.1.3 – Estrutura totalmente montada.

Fonte: Autor.

7. VANTAGENS E DESVANTAGENS

7.1 Vantagens

Podemos dizer que as vantagens da pré-fabricação são aquelas relacionadas a execução da estrutura em fábrica. Isso se dá devido às facilidades da produção de elementos em série e ao auxílio da tecnologia.

Porém a pré-fabricação só é viável se o tempo de execução do empreendimento for muito curto, devido aos aumentos nos preços dos materiais de construção civil.

A mais notória das vantagens deste sistema é a redução do tempo de execução da edificação, dentre outras as quais podemos citar:

- redução do número de funcionários e acidentes de trabalho;
- desaparecimento quase que total de cimbramento e fôrmas;
- diminuição de armazenamento de insumos no canteiro;
- melhoria dos trabalhos realizados mecanicamente, em comparação com os manuais;
- melhor aproveitamento das seções existentes;
- facilidade de controle de qualidade;
- possibilidade de evitar interrupções na concretagem;
- possibilidade da recuperação de elementos ou parte da construção em certas desmontagens;
- evita a improvisação;
- maior controle no recebimento de materiais e controle de obras.

7.2 Desvantagens

As desvantagens da pré-fabricação são aquelas decorrentes da colocação dos elementos nos locais definitivos de utilização e, da necessidade de realizar as ligações entre os vários elementos que compõe a estrutura.

Outra desvantagem da pré-fabricação é quanto ao tempo de execução do empreendimento, uma vez que os materiais sofrem constantes reajustes. Como limitações e desvantagens podemos citar também:

- limitação do porte vertical;
- falta de monolitismo da construção, especialmente nas regiões sísmicas;
- necessidade de superdimensionar certos elementos, considerando as situações transitórias;
- limitação nos gabaritos de transporte;
- inadaptação à topografia;
- custo do transporte dos elementos comparados aos da matéria-prima;
- certa limitação quanto a arquitetura;
- acesso dos equipamentos de montagem;
- custo com ICMS para produtos industrializados.

8. CONCLUSÃO

As técnicas construtivas da pré-fabricação estão sendo implantadas no país de maneira gradativa em diversas obras de diferentes seguimentos.

Baseado na pesquisa podemos afirmar que a pré-fabricação ainda é rejeitada em certas áreas da construção civil, porém são indispensáveis em algumas obras. Esse comprometimento de alguns setores se dá devido aos resultados alcançados através de alguns investimentos realizados pelas empresas pioneiras, tanto na qualidade do produto quanto na logística da construção.

Todavia, o sistema se destaca realmente quanto as suas vantagens quando comparado ao sistema convencional, as quais podemos destacar a rapidez, economia e controle de qualidade, mas ainda com um custo mais alto. Porém, a pré-fabricação como qualquer outro sistema construtivo tem suas dificuldades, o que a limita a alguns empreendimentos, onde se destaca a realização das ligações, que requer um acompanhamento técnico muito rigoroso.

Contudo, podemos esperar no futuro uma evolução ainda maior da pré-fabricação, que permitirá a ela ser empregada nas obras com tanta frequência como o sistema convencional em concreto armado.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução e estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de pré-fabricados de concreto**. São Paulo: ABCI, 1986.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos, SP: EESC-USP, 2000.

MELO, C.E.E. **Manual Munte de projetos pré-fabricados de concreto**. São Paulo: PINI, 2004.