

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

JULIA TOROSSIAN CORADI

O CONCRETO PRÉ MOLDADO: UMA ANÁLISE TEÓRICO-PRÁTICA

BAURU

2023

JULIA TOROSSIAN CORADI

O CONCRETO PRÉ MOLDADO: UMA ANÁLISE TEÓRICO-PRÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil - Centro
Universitário Sagrado Coração.

Orientador: Prof.º Me Renan Amauri Guaranha
Rinaldi

BAURU

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo
com ISBD

C787c	Coradi, Julia O concreto pré-moldado: uma análise teórico-prática / Julia Coradi. -- 2023. 29f. : il. Orientador: Prof. Dr. Renan Amauri Guaranha Rinaldi Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP 1. Sistema Construtivo. 2. Concreto Pré-Moldado. 3. Industrialização Da Construção. I. Rinaldi, Renan Amauri Guaranha. II. Título.
-------	---

JULIA TOROSSIAN CORADI

O CONCRETO PRÉ MOLDADO: UMA ANÁLISE TEÓRICO-PRÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil - Centro
Universitário Sagrado Coração.

Aprovado em: ____/____/____.

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. _____ (Orientadora)
Centro Universitário Sagrado Coração

Titulação, Nome
Instituição

Titulação, Nome
Instituição

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Hipódromo da Gávea no Rio de Janeiro.....	11
Figura 2 - Peças pré-fabricadas separadas por papel parafinado e galpão industrial de concreto armado.....	12
Figura 3 – Área de montagem de armação das peças forma e consolos.....	18
Figura 4 – Funil de concretagem para as pistas de protensão.....	18
Figura 5 – Ponte rolante que movimenta as peças e as armazena no pátio aguardando liberação segundo alcance do FCK mínimo para entrega na obra.....	18
Figura 6 – Exemplo de recebimento de peças, transporte de lajes para a obra.....	19
Figura 7 – Montagem de pilares, vigas e lajes.....	19
Figura 8 – Escavação dos blocos de fundação e arrasamento da cabeça das estacas e concreto magro no fundo da escavação.....	20
Figura 9 – Após chapisco das paredes os blocos de armadura são posicionados segundo marcação topográfica necessária para que o cálice fique no nível e eixo necessários para recebimento do pilar.....	20
Figura 10 – Após travamento da armadura na posição correta é realizada a concretagem, mantendo o cálice não preenchido.....	21
Figura 11 – O último passo para que o bloco de fundação esteja pronto, é regularizar o fundo do cálice e a concretagem de um ‘anel’ para servir de guia para o pé do pilar.....	21
Figura 12 – Projeto de pilares, posicionamento e informações de cada peça, inserção do pilar no cálice e detalhes de posicionamento do neoprene e arranques.....	22
Figura 13 – Modelos de etiquetas de vigas (VR), lajes (LP) e pilares (PP).....	22
Figura 14 – Processo de preparo para instalação do pilar.....	23
Figura 15 – Pilares instalados aguardando cura de 24 horas do graute para receber as vigas.....	23
Figura 16 – Formato das vigas, alguns com armadura complementar para o piso e a viga já montada e os arranques grauteados.....	24
Figura 17 – Montagem das vigas com o auxílio de guindaste e PTAs.....	24
Figura 18 – Detalhe das cordoalhas de protensão nas lajes alveolares.....	25
Figura 19 – Textura da face superior, aspecto rústico que dará aderência no capeamento.....	25
Figura 20 – Recorte de um projeto de montagem de lajes com informações de cada peça segundo posição e carga.....	25
Figura 21 – Processo de montagem das lajes com auxílio do guindaste, peças apoiadas nas vigas ou suporte metálico no caso das aberturas no pavimento de cobertura.....	26

Figura 22 – Detalhe do projeto da escada e a sapata de apoio.....	26
Figura 23 – Detalhe do lastro de concreto, sapata de apoio e escada pré-fabricada.....	27
Figura 24 – Acessório de encaixe angular no pilar, peça de conexão pilar-painel, acessório no painel para apoio no acessório.....	27
Figura 25 – Projeto de montagem de painel de fachada.....	28
Figura 26 – Montagem dos painéis segundo projeto de fachada.....	28
Figura 27 – Procedimento de execução de capeamento.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	BREVE HISTÓRICO.....	10
3	O CONCRETO PRÉ-MOLDADO (CPM)	12
3.1	CONCEITO DE PRÉ-FABRICADO, PRÉ-MOLDADO E PROTENDIDO.....	12
3.2	VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	15
4.1	ETAPAS DE PRODUÇÃO DO PRÉ-FABRICADO.....	15
4.2	COMPANHAMENTO DO PRÉ-FABRICADO EM OBRA.....	17
4.2.1	Fundação.....	17
4.2.2	Pilares.....	19
4.2.3	Vigas.....	21
4.2.4	Lajes.....	22
4.2.5	Escadas.....	24
4.2.6	Painéis.....	25
4.2.7	Capeamento.....	26
5	CONCLUSÃO.....	27

SIGLAS

FCK – Resistência característica a compressão do concreto.

FCJ – Média da resistência a compressão na idade de 28 dias.

CPM: Concreto Pré-Moldado

CML: Concreto Moldado no Local

ABCIC - Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto

O CONCRETO PRÉ MOLDADO: UMA ANÁLISE TEÓRICO-PRÁTICA

Julia Torossian Coradi

¹Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO)
juliacoradi21@gmail.com

RESUMO

O concreto tem sido um grande aliado no desenvolvimento humano e na construção da sociedade. O desenvolvimento desse material extremamente versátil é quase um insumo obrigatório em qualquer tipo de construção. Com o desejo de obras cada vez mais rápidas e eficientes, os métodos construtivos foram aprimorados e a evolução da tecnológica do concreto para pré-fabricado ganhou grande aplicabilidade no Brasil. Nesta pesquisa o objetivo é entender melhor o histórico do pré-moldado, a produção do pré-fabricado, as características gerais do produto e a vivência em um canteiro de obra, acompanhando o início de montagem de uma escola industrial no interior paulista.

Palavras-chave: Sistema construtivo, concreto pré-moldado, industrialização da construção.

ABSTRACT

Concrete has been a great ally in human development and in the construction of society. The development of this extremely versatile material is almost a mandatory input in any type of construction. With the desire for increasingly faster and more efficient constructions, construction methods were improved and the evolution of concrete technology for prefabricated concrete gained great applicability in Brazil. In this research, the objective is to better understand the history of precast, prefabricated production, the general characteristics of the product and the experience on a construction site, following the beginning of the assembly of an industrial school in the interior of São Paulo.

Keywords: Construction system, reinforced concrete, precast, prestressing, industrialization - quality.

1 INTRODUÇÃO

A evolução da indústria da construção civil aconteceu em diversas fases, sendo cada uma caracterizada por uma diversidade de métodos, tecnologias e arquiteturas próprias. Nos dias atuais verifica-se uma significativa organização em alguns subsetores, onde são encontrados modernos sistemas construtivos e processos de gestão industrial. Entre estes sistemas, destacam-se os pré-moldados em concreto armado.

O uso do concreto pré-fabricado, chamado de construções secas, reduz o desperdício de materiais e permite que a execução seja mais rápida e sustentável em comparação com os sistemas convencionais de concreto moldado in loco. Por causa desses atributos, o concreto pré-moldado ocupa um espaço cada vez maior no mercado da engenharia civil. (OLIVEIRA, 2015).

Essa pesquisa tem a finalidade de compreender o CPM em seu panorama histórico, explorando suas origens, o progresso da industrialização, projeto e execução. Para isso, foram utilizadas bibliografia de autores referência no assunto. A partir da pesquisa sobre definições, utilizações e vantagens do concreto pré-fabricado para a realização da fundamentação teórica, foi realizado o acompanhamento de uma obra executada em CPM. A obra em questão localiza-se na cidade de Jau, está sobre a responsabilidade de uma construtora da cidade de Bauru, e o acompanhamento se deu de agosto de 2023 a novembro de 2023, totalizando três meses. Sendo assim, foi possível relacionar os conhecimentos teóricos com a execução na prática, desde a produção das peças na indústria, sua entrega na obra e sua execução inicial.

A ABCIC, 2015 e BASTOS, 2020 discriminam que as aplicações do CPM são diversas, podendo ser ou não protendidas e alcançam muitas categorias de construção com infraestrutura, edificações e obras artísticas. Entre algumas obras passíveis da utilização do pré-moldado temos pontes e viadutos de pequeno, médio e grande porte, laje alveolar para painéis para fechamento vertical, coberturas de galpões com telhas em concreto, hospitais, hidrelétricas, terminais rodoviários e aeroportos, shoppings, passarela de pedestres, termoeletricas, portos e estruturas portuárias complementares, ferrovias e trilhos para metrô, reservatórios de água e captação, edifícios residenciais de pequeno e médio porte, edificações de múltiplos pavimentos com uso misto, estádios, galerias de água e esgoto e canais de drenagem, paredes de contenção, sapatas e blocos de fundação, alambrados, escadas, e acabamentos arquitetônicos para fachadas.

2 BREVE HISTÓRICO

Na evolução da humanidade, as construções acompanharam o seu desenvolvimento e suas necessidades, quando nômades, utilizavam estruturas naturais como cavernas ou cabanas sem muita estrutura ou durabilidade, visto que o objetivo não era permanecer e desenvolver seu entorno. Conforme a sociedade evoluiu, as edificações também acompanharam e pode-se destacar o Parthenon de Atenas como uma das primeiras construções em estruturas pré-fabricadas. A necessidade do homem perante o desenvolvimento de regras sociais e organização levou a criação de novos métodos construtivos, da arquitetura e da engenharia.

Diante de tantos fatos históricos marcantes para a humanidade, para a tecnologia de pré-fabricados destaca-se as revoluções industriais e a Segunda Guerra Mundial como importantes impulsionadores dessa indústria, onde juntas uniram a necessidade de reconstrução rápida com capacidade de fabricação em massa. A industrialização da construção civil promoveu no Brasil e no mundo o desenvolvimento controlado de diversos insumos do ramo e entre eles o pré-fabricado, pré-moldado e protendido foram estudados, testados, aprimorados e produzidos com cada vez mais critérios de qualidade e segurança, sendo possível hoje iniciarmos a obra fora do canteiro e obtendo agilidade nunca visto. Serra, S.M.B. (1); 2015.

Segundo VASCONCELOS (2002), como o Brasil não sofreu com a devastação das guerras teve-se um atraso na importação dessa tecnologia, sendo registrada a primeira obra de pré-fabricado apenas em 1926, o Hipódromo da Gávea no Rio de Janeiro (Figura 1), realizado por uma empresa dinamarquesa. A obra em questão teve a aplicação do pré-fabricado em sua fundação e nas cercas da área reservada do hipódromo.

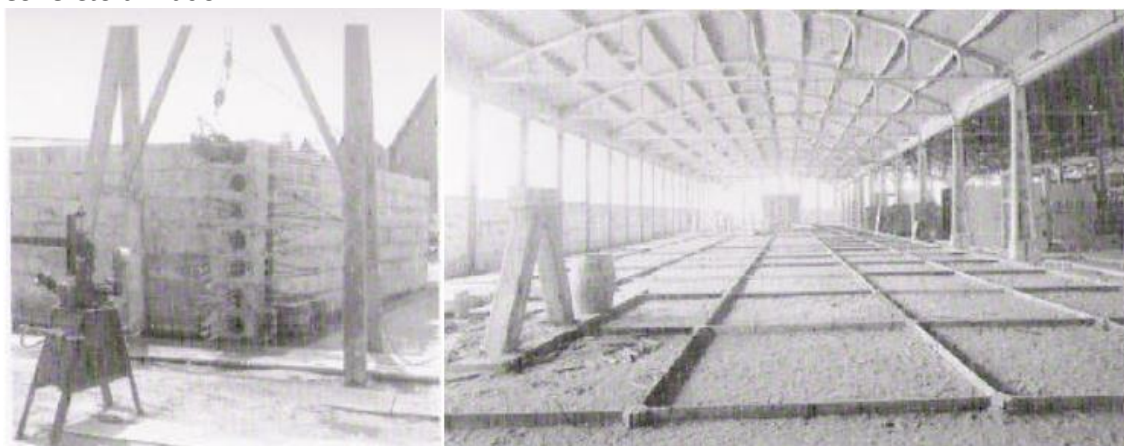
Figura 1 – Hipódromo da Gávea no Rio de Janeiro



Fonte: Luiz Eduardo L. e JR e ANA 2023

A preocupação com a industrialização e racionalização da construção no Brasil teve investimento apenas no final dos anos 1950 na cidade de São Paulo com a Construtora Mauá, que era especializada em obras industriais e construiu diversos galpões pré-fabricado no próprio canteiro de obras (Figura 2). Para isso, as peças eram concretadas em camadas e separadas por papel parafinado, a forma acompanhava a sequencial vertical e aguardado apenas o tempo de endurecimento inicial do concreto, economizando tempo e espaço no canteiro VASCONCELOS (2002).

Figura 2 - Peças pré-fabricadas separadas por papel parafinado e galpão industrial de concreto armado



Fonte: VASCONCELOS, 2002.

Até o início dos anos 60, segundo a ABCIC (1980) houveram tentativas de construir com pré-fabricados, mas foram casos esporádicos, atípicos e descontinuados. Somente em 1964 foi registrada primeira tentativa de execução de edifícios de vários pavimentos com pré-fabricados, o Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo (CRUSP), construídos doze

prédios com doze pavimentos pelo Fundo de Construção da Universidade de São Paulo (FUNDUSP) para servir como alojamento de estudantes de outras cidades.

A execução ocorreu perfeitamente na produção das peças, mas houveram inúmeros problemas com a falta de treinamento dos operários que utilizavam aquele sistema construtivo pela primeira vez. As placas foram fabricadas e armazenadas no próprio canteiro por conta do espaço disponível, o que não aconteceu em outras obras em localizações mais populosas e sem espaço disponível.

Já na década de 1970 existia demanda por novas tecnologias e pela construção habitacional, e por meio de financiamento do banco BNH investiu e tentou-se implantar a tecnologia dos pré-fabricados em conjuntos habitacionais na Bahia, mas por alguns anos foram construídos sem muito rigor técnico. Porém, segundo VASCONCELOS (2002), no ano de 1983 a própria COHAB-SP por meio de relatórios e vistorias denunciou a situação precária das moradias e para o IPT a única solução possível seria a demolição dessas edificações, visto que era inviável a sua recuperação de qualquer forma. Segundo eles a causa maior das patologias decorreu dos materiais utilizados na fabricação dos painéis que eram inadequados e não alcançavam padrões de qualidade, segurança e função.

Após esses ocorridos o pré-fabricado foi abandonado até os anos 1990 quando perante o desenvolvimento da cidade de São Paulo, muitos investimentos estavam sendo feitos para a construção de shoppings, flats e hotéis. Os novos investimentos requeriam rapidez de produção e consequentemente venda, por isso utilizou-se a tecnologia dos painéis de pré-fabricados nas fachadas dessas edificações com riqueza de detalhes e acabamentos a fim de valorizar e embelezar seu externo. Essas peças depois foram batizadas de painéis arquitetônicos, trazendo ao mesmo tempo rapidez no fechamento das obras e também a estética. (OLIVEIRA, 2002)

Desde então a tecnologia dos pré-fabricados evoluiu e continua a evoluir com o desenvolvimento das indústrias de pré-moldados, protendido, concreto, aditivos, o aço e todos os insumos necessários para a sua produção cada vez mais eficiente e racionalizada. Atualmente com a imersão BIM tem-se controle desde o início na fábrica, a produção, custo, tempo e planejamento dessas peças dentro da fábrica até a entrega e montagem na obra.

3 O CONCRETO PRÉ-MOLDADO (CPM)

O Concreto Pré-Moldado (CPM) abre uma gama de estudos relacionados a ele que são importantes para a evolução não só do método construtivo, mas para a engenharia civil como um todo.

Para BASTOS, 2020, primeiro tem-se os estudos relacionados ao próprio concreto, mais possibilidades de aplicações com resistências mais elevadas. Depois tem-se o desenvolvimento dos projetos, a evolução dos programas computacionais de análise estrutural, sistema BIM, o estudo do comportamento de ligações semirrígidas e o melhoramento dos elementos como peça individual e como um sistema interligado. MOUNIR K., 2017 complementa que por último, mas certamente não menos importante, temos a produção, industrialização, mecanização e automação das fábricas, melhores controles de eficiência, precisão e qualidade de todos os materiais e etapas produtivas.

3.1 CONCEITO DE PRÉ-FABRICADO, PRÉ-MOLDADO E PROTENDIDO

O modelo de construção de pré-moldados já é um método construtivo conhecido, mas a sua diferença dos pré-fabricados pode confundir, e segundo a NBR 9062/2011 suas definições são se dão mediante as diferenças em local de produção e nível de controle de qualidade. Enquanto o elemento pré-moldado é definido como um elemento executado fora do local de montagem e com controle de qualidade menos rigoroso, com suas inspeções sendo feitas por

lotes e não individualmente por uma pessoa ou laboratório específico. Já o pré-fabricado são elementos produzidos industrialmente, em ambiente controlado e mantendo o rigoroso controle de qualidade, mesmo quando provisório no canteiro de obra. A produção deve atender aos requisitos dispostos no item 12 da norma:

12.2. Os elementos produzidos em usina ou instalações analogamente adequadas aos recursos para produção e que disponham de pessoal, organização de laboratório e demais instalações permanentes para o controle de qualidade, devidamente inspecionada pela fiscalização. (NBR 9062/2011 – pag.34)

12.2.2. Os elementos devem ser identificados individualmente e, quando conveniente, por lotes de produção.

12.2.3. A inspeção das etapas de produção compreende pelo menos a confecção da armadura, as formas, o amassamento e lançamento do concreto, o armazenamento, o transporte e a montagem; deve ser registrada por escrito em documento próprio onde constem claramente indicados a identificação da peça, a data de fabricação, o tipo de aço e de concreto utilizados e as assinaturas dos inspetores responsáveis pela liberação de cada etapa de produção devidamente controlada. (NBR 9062/2011 – pag.35)

No item “9.1.2 Especificações” da norma NBR 9062/2011, define-se que os encarregados de produção e de controle de qualidade devem ser treinados, e possuir um manual técnico desenvolvido pela direção da empresa executora responsável onde conste de forma clara e precisa, pelo menos, as especificações e procedimentos dos seguintes:

- a) Formas, montagem, desmontagem, limpeza e cuidados;
- b) Armadura, diâmetro dos pinos para dobramento das barras, manuseio, transporte, armazenamento, estado superficial, limpeza e cuidados;
- c) Concreto, dosagem, amassamento, consistência, descarga da betoneira, transporte, lançamento e adensamento;
- d) Protensão, forças iniciais e finais, medidas das forças e alongamentos, manuseio, transporte, armazenamento, estado superficial, limpeza e cuidados com fios, barras ou cabos de protensão;
- e) Liberação da armadura pré-tracionada, método de liberação da armadura de seus apoios independentes e de seccionamento da armadura exposta entre elementos dispostos em linha, no caso de pistas de protensão na produção de elementos de concreto pré-fabricados por pré-tração, cuidados e segurança contra acidentes;
- f) Manuseio e armazenamento dos elementos, utilização de cabos, balancins ou outros meios para suspensão dos elementos, pontos de apoio, métodos de empilhamento, cuidados e segurança contra acidentes;
- g) Tolerâncias, tolerâncias dimensionais e em relação a defeitos aparentes das formas e da armadura, tolerâncias quanto à variação da consistência e defeitos aparentes do concreto fresco, tolerâncias quanto à discrepância entre a medida do alongamento e da força aplicada à armadura protendida, tolerância em relação às resistências efetivas do concreto, tolerâncias de abertura de fissuras, tolerâncias dimensionais e em relação a defeitos aparentes dos elementos pré-fabricados acabados. (NBR 9062/2011 – pag.30)

Outro aspecto importante para o método construtivo é a protensão, considerada um aprimoramento do concreto, pode ou não ser inclusa nas peças pré-moldada, a depender de qual peça e função exercerá. Conforme observado na NBR 7197 - Projeto de Estruturas Protendidas, tem-se que a protensão é a inclusão de cordoalhas tensionadas no concreto de forma que ele trabalhe com a finalidade de comprimir as peças e assim eliminar as forças de tração atuantes. É feito com barras ou fios isolados, por cordões (cordoalhas) formados por fios enrolados e os tipos de protensão (completa, limitada ou parcial) relacionam-se com os estudos limites de utilização referentes à fissuração, o tipo de construção e da agressividade do ambiente. (NBR 9062/2011)

A protensão deve ser executada com o emprego de meios e sistemas que permitam carregar os cabos progressivamente até se atingir a carga de projeto. Os fios ou cabos da armadura pré-tracionada podem ser tracionados individualmente ou em grupo.

9.2.5.2 Execução da pré-tração:

9.2.5.2.1 A protensão deve ser executada com o emprego de meios e sistemas que permitam carregar os cabos progressivamente até se atingir a carga de projeto. Os fios ou cabos da armadura pré-tracionada podem ser tracionados individualmente ou em grupo.

9.2.5.2.2 Os sistemas de ancoragem, seja com fixação nas próprias formas ou em apoios independentes, devem ser de tal forma rígidos que não permitam perdas de tensões maiores que as previstas no projeto. A tensão na armadura pré-tracionada deve ser verificada simultaneamente pela medida da força aplicada e pelo alongamento. Os aparelhos utilizados, como manômetros, células de cargas, dinamômetros e outros, devem ser mantidos devidamente calibrados e aferidos. (NBR 9062/2011 – pag.31)

9.2.5.3. Liberação dos elementos pré-moldados protendidos por pré-tração:

9.2.5.3.1 A liberação dos elementos de concreto pré-moldados protendidos por pré-tração das mesas ou pistas de protensão é a operação da fixação das ancoragens dos fios ou cabos aderentes e o seccionamento destes entre as extremidades de elementos contíguos no caso de fabricação em linha. Esta operação deve ser executada com meios apropriados que evitem transmissão de choques dos fios ou cabos no concreto e somente após comprovação de que a resistência efetiva do concreto à compressão tenha atingido o valor indicado no projeto para esta fase, não admitindo valor inferior a 21 MPa. (NBR 9062/2011 – pag.31)

O CPM é associado à industrialização da construção, com o emprego de forma racional e mecanizada dos materiais, meios de transporte, técnicas construtivas para se conseguir maior produtividade e essa industrialização se estende a todas as possibilidades construtivas, e independe dos materiais empregados. Já o método de pré-moldar restringe-se as estruturas, fechamentos ou elementos acessórios de concreto, e podem ser classificados quanto à forma da seção transversal, quanto ao peso do elemento de concreto e quanto ao papel desempenhado pela aparência (BASTOS 2020).

3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

As obras de pré-moldado estão em ascensão no Brasil e no mundo por conta de uma série de vantagens ao utilizá-lo. Conforme autores (BASTOS, 2020; MOUNIR K., 2017; ABCIC, 2015) e estudos de caso, diversos fatores positivos podem ser apontados, sendo alguns gerais para qualquer obra envolvendo pré-moldado, e outros são mais específicos dependendo da categoria de obra.

Como algumas vantagens gerais do concreto pré-moldado temos que pode-se prever o desmonte da construção ou de partes dela, para reutilização e o rearranjo de espaços, tempo para entrada da edificação em uso é muito menor, possibilitando o retorno mais rápido do investimento, menor perturbação do entorno devido à rapidez de construção, por exemplo de pontes em áreas urbanas e rodovias, seguro em relação a incêndio pois as estruturas de concreto possuem em geral, menor custo de seguro contra incêndios, quando industrializado, torna-se bastante efetivo ao atender às demandas de construção em grande escala, cumprindo com maiores padrões de produtividade e qualidade, alta durabilidade e baixa manutenção, diretamente ligadas aos padrões de qualidade na produção e posteriormente nos cuidados periódicos, possibilidade de menor custo de energia pela facilidade de incorporar isolamento

térmico nos componentes e a eficiência estrutural e estabilidade global quando pronta a estrutura.

Podemos também identificar benefícios a utilização na obra, como maior limpeza durante a execução e pouca geração de resíduos na montagem, mão de obra necessária extremamente reduzida em comparação com o método construtivo tradicional, tempo de construção, desconsiderando o tempo de produção, possibilita uma grande redução no cronograma de execução da estrutura e o planejamento da construção facilitado, pois, as instalações no pré-moldado são externas às peças.

O pré-fabricado traz consigo vantagens que são determinadas pelo cenário industrial, começando pelo fator mais importante, o melhor controle e fabricação dos componentes de concreto quanto a qualidade da forma, armadura, concreto, cura, desmolde e acabamentos, diminuição do consumo de concreto pelo uso de seções resistentes mais eficientes (seção I por exemplo e melhor condições de trabalho dos operários devido às condições em fábricas e à produção feita ao nível do solo.

Como algumas desvantagens temo o alto investimento inicial, personalização limitada nos projetos e arquitetura, possível dificuldade de acesso, logística e transporte, baixa tolerância na hora da montagem e ligação das peças, necessidade de amplo espaço desobstruído para maquinário pesado, montagem e estocagem e maior dificuldade de acesso em topografias muito irregulares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir foram descritas as etapas do concreto pré-fabricado desde sua produção na fábrica, a fundação executada no canteiro de obra para o recebimento das peças e a montagem em sua sequência ideal de execução.

4.1 ETAPAS DE PRODUÇÃO DO PRÉ-FABRICADO

Produção dos elementos: A fabricação das peças inicia-se sempre com um projeto compatibilizado com o arquitetônico, hidráulico, elétrico e aterramento, visto que os insertos devem ser previstos antes do início da produção. Passando por todas as etapas comumente conhecidas do concreto armado (Figuras 3 a 5), temos ao final o CPM pronto com os acessórios necessários e particulares de cada peça.

Figura 3 – Área de montagem de armação das peças forma e consolos



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 4 – Funil de concretagem para as pistas de protensão



Fonte: Arquivo pessoal e LEONARDI (2023)

Figura 5 – Ponte rolante que movimenta as peças e as armazena no pátio aguardando liberação segundo alcance do FCK mínimo para entrega na obra



Fonte: Arquivo pessoal

Transporte da fábrica à obra: A movimentação e transporte da peça respeita o tempo mínimo de cura para o alcance da resistência suficiente para içamento do elemento, chegando na obra por meio de carretas que podem variar de 7 até 30 metros (Figura 6), a depender das dimensões das peças. Um adendo importante é que apesar da evolução da tecnologia do concreto armado, possibilitando vãos cada vez maiores, existe um limite funcional para o comprimento das peças, que a partir de 24 metros, dificulta e estreita o acesso a locais, a logística fica mais complexa e requisita guindastes maiores, o que talvez não seja acessível a localidade e custo da obra.

Figura 6 – Recebimento de peças



Fonte: Arquivo pessoal

Montagem e execução das ligações: Segundo BASTOS (2020) e as experiências pessoais na obra, a montagem é rápida e requer quantidade reduzida de mão de obra e de insumos no ato da instalação. Primeiro é feita a descarga das peças da carreta, sendo posicionadas próximo ao local final. Antes de iniciar a montagem dos pilares, é cortada a cordoalha de içamento e feito acabamento com argamassa. Ao içar a peça é colocada no prumo, fixada com cunhas de madeira nos 4 lados e grauteada junto ao cálice do bloco de fundação. Com uma sequência de pilares posicionado e firmados, começa o içamento das vigas que descansam sobre uma placa de neoprene e são travadas pelos arranques dos consolos e em seguida grauteadas. Para MOUNIR K., 2017, agora com o esqueleto montado, pilares e vigas, inicia-se a montagem das lajes alveolares (Figura 7) e painéis de fechamento, que também seguem o método de encaixe, fixação com arranques, consolos e graute.

Figura 7 – Montagem de pilares, vigas e lajes



Fonte: Arquivo pessoal

4.2 ACOMPANHAMENTO DO PRÉ-FABRICADO EM OBRA

O projeto acompanhado é uma escola industrial no interior paulista, em campo foi acompanhado desde a preparação da fundação, o controle de recebimento das peças e a execução acompanhada em obra, vamos aprofundar os detalhes referentes a fundação, pilares, vigas, lajes, painéis e escadas.

4.2.1 Fundação

Para a montagem da estrutura pré-moldada, assim como qualquer edificação, temos primeiramente a fundação, responsável por transmitir as cargas para o solo. Na obra em questão, foram executados blocos armados de dimensões definidas por projeto estrutural que coroam 2, 3, 4 ou mais estacas. No meio da armadura um espaço denominado cálice, que permanece não concretado, receberá o pilar pré-moldado. As dimensões do cálice excedem as dimensões da peça de forma que a folga possibilita pequenos ajustes e o grauteamento (Figuras 8 a 11).

Figura 8 – Escavação dos blocos de fundação e arrasamento da cabeça das estacas e concreto magro no fundo da escavação



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 9 – Após chapisco das paredes os blocos de armadura são posicionados segundo marcação topográfica necessária para que o cálice fique no nível e eixo necessários para recebimento do pilar



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 10 – Após travamento da armadura na posição correta é realizada a concretagem, mantendo o cálice não preenchido



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 11 – O último passo para que o bloco de fundação esteja pronto, é regularizar o fundo do cálice e a concretagem de um ‘anel’ para servir de guia para o pé do pilar

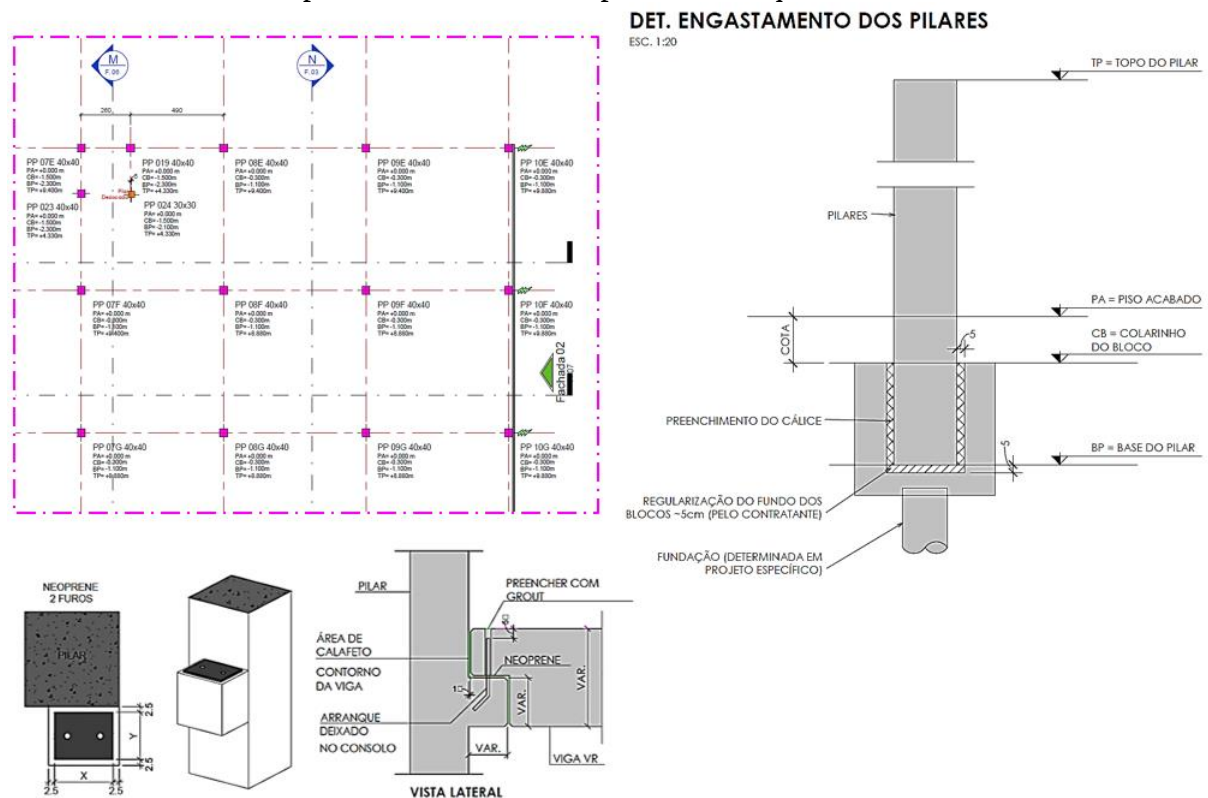


Fonte: Arquivo pessoal

4.2.2 Pilares

Os pilares são estruturas verticais com a função de receber e transferir as cargas da edificação para a fundação e no caso do pré-fabricado são as peças mais complexas do sistema de pré-moldado pois nelas tem-se consolos, arranques, saídas pluviais, chapas de aterramento, corrugados metálicos para cabeamento, furo de içamento, entre outros acessórios que variam por necessidade do cliente, por peça e por posicionamento da peça no projeto (Figura 12), criando então vários modelos de elementos que seguirão detalhamentos específicos.

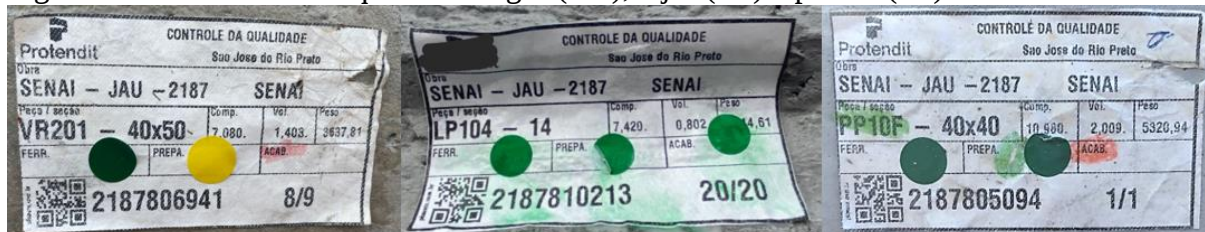
Figura 12 – Projeto de pilares, posicionamento e informações de cada peça, inserção do pilar no cálice e detalhes de posicionamento do neoprene e arranques



Fonte: Arquivo pessoal

Com o recebimento das peças e equipe de montagem confere as peças segundo o romaneio, o projeto e as etiquetas de cada peça (Figura 13) com a identificação da peça e informações de dimensão e volume.

Figura 13 – Modelos de etiquetas de vigas (VR), lajes (LP) e pilares (PP)



Fonte: Arquivo pessoal

Após a descarga das peças, é cortado a cordoalha de içamento horizontal e dado acabamento com massa, posicionadas as placas de *neoprene* nos arranques e passado pelo furo de içamento uma peça tubular posicionada no centro de massa do pilar, que ao ser levantado, se organiza verticalmente.

O pilar posicionando-se verticalmente, é movimentado pelos montadores na orientação correta e inserido no cálice. Com prumo de face, nível bolha e linha de pedreiro a peça é apurada, alinhada e fixada com cunhas de madeira, aguardando o grauteamento (Figura 14). Após cura do graute de 24 horas, as cunhas podem ser retiradas e os pilares estão liberados para receberem as vigas (Figura 15).

Figura 14 – Processo de preparo para instalação do pilar



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 15 – Pilares instalados aguardando cura de 24 horas do graute para receber as vigas



Fonte: Arquivo pessoal

4.2.3 Vigas

Vigas são elementos estruturais horizontais de apoio para as lajes e são responsáveis pela transferência da carga para os pilares. É o segundo elemento a ser instalado na sequência dos pilares, são peças mais simples, mas ainda contém alguns detalhes, como armadura superior para amarração em pisos futuros. Sua montagem é mais rápida, sendo apenas repousado sobre os consolos e passando pelos arranques, que depois são grauteados (Figura 16). Esses elementos protendidos tem a função primordial de suportar a laje de piso ou elementos de cobertura. Sua seção pode ser retangular ou quadrada e seu perfil pode variar em formatos I, T e retangulares. (Figura 17).

Figura 16 – Formato das vigas, alguns com armadura complementar para o piso e a viga já montada e os arranques grauteados



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 17 – Montagem das vigas com o auxílio de guindaste e PTAs



Fonte: Arquivo pessoal

4.2.4 Lajes

Existem vários tipos de elementos de lajes pré-fabricados, alguns leves como a pré-moldada treliçada ou pesadas como a laje alveolar (Figura 18), elemento onde o comprimento e a largura são as maiores dimensões e são apoiadas em elementos no perímetro.

As lajes são elementos de instalação extremamente rápida pois são apenas apoiadas em elementos já alinhados e nivelados. Esse elemento transmitirá as cargas de uso da edificação às vigas e pilares.

Figura 18 – Detalhe das cordoalhas de protensão nas lajes alveolares



Fonte: Arquivo pessoal

O aspecto das faces (Figura 19) não é muito refinado pois na fase de acabamento será feito o chaveamento para a solidarização das peças, o capeamento que agirá como contra piso para o revestimento de piso, e o forro de gesso para o revestimento de teto.

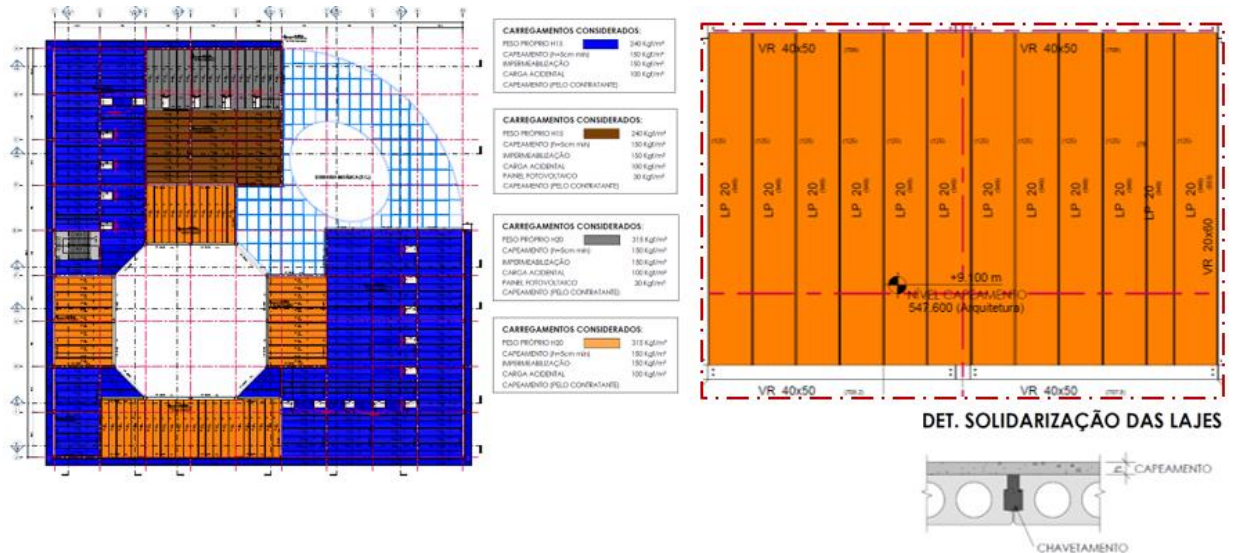
Figura 19 – Textura da face superior, aspecto rústico que dará aderência no capeamento



Fonte: Arquivo pessoal

As lajes são definidas em projeto de acordo com a carga recebida (Figura 20) e são instaladas de acordo com o projeto de montagem (figura 21). Existem uma quantidade de peças iguais as quais formam grupos, por exemplo, podemos ter 40 unidades da mesma peça, que serão instaladas em sequência.

Figura 20 – Recorte de um projeto de montagem de lajes com informações de cada peça segundo posição e carga



Fonte: Projeto de lajes fornecido por empresa responsável

Figura 21 – Processo de montagem das lajes com auxílio do guindaste, peças apoiadas nas vigas ou suporte metálico no caso das aberturas no pavimento de cobertura

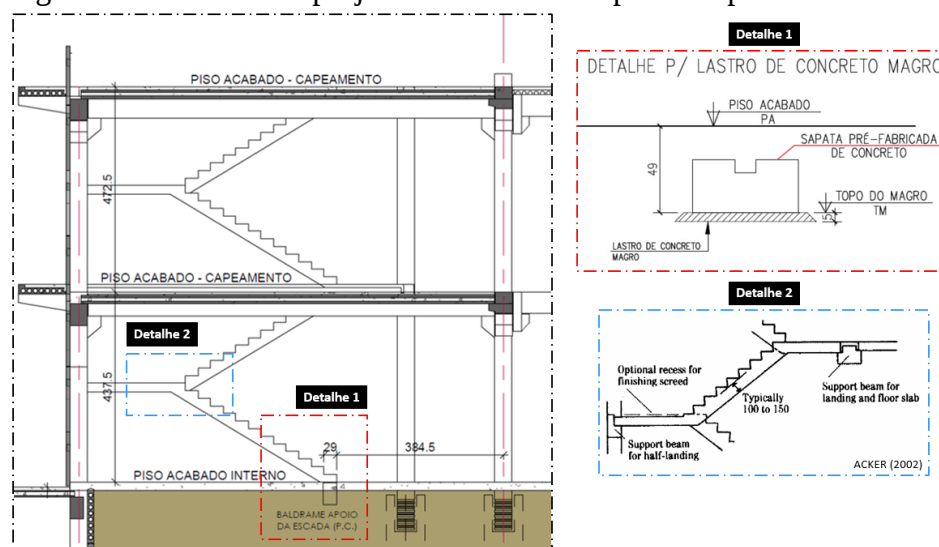


Fonte: Arquivo pessoal

4.2.5 Escadas

Escadas pré-fabricadas são elementos que realmente facilitaram a execução desse tipo de estruturas em obras. Antes necessitavam do local definitivo de instalação da escada liberado, execução de formas, da armação complexa e da concretagem controlada. Agora as peças chegam e são montadas como qualquer peça de pré-moldado (figura 22), exigindo apenas uma base, baldrame ou contra-piso de apoio para o pé e parte da edificação já executada para suporte da escada (Figura 23), pois como as outras peças, a instalação utiliza-se de apoio das peças instaladas previamente.

Figura 22 – Detalhe do projeto da escada e a sapata de apoio



Fonte: Projeto de escada fornecido por empresa responsável

Figura 23 – Detalhe do lastro de concreto, sapata de apoio e escada pré-fabricada



Fonte: Arquivo pessoal

4.2.6 Painéis

Os painéis são peça semelhantes as lajes, porém não alveolares, de seção mais fina e com sistemas de encaixe (Figura 24). Utilizados comumente como elementos de fechamento externo da edificação, não sendo comum sua utilização em divisórias internas, e para isto utiliza-se alvenaria ou Dry Wall. O painel pode ser personalizado para receber entre ele as esquadrias ou acabamentos mistos, como algum fechamento metálico para detalhes de fechada.

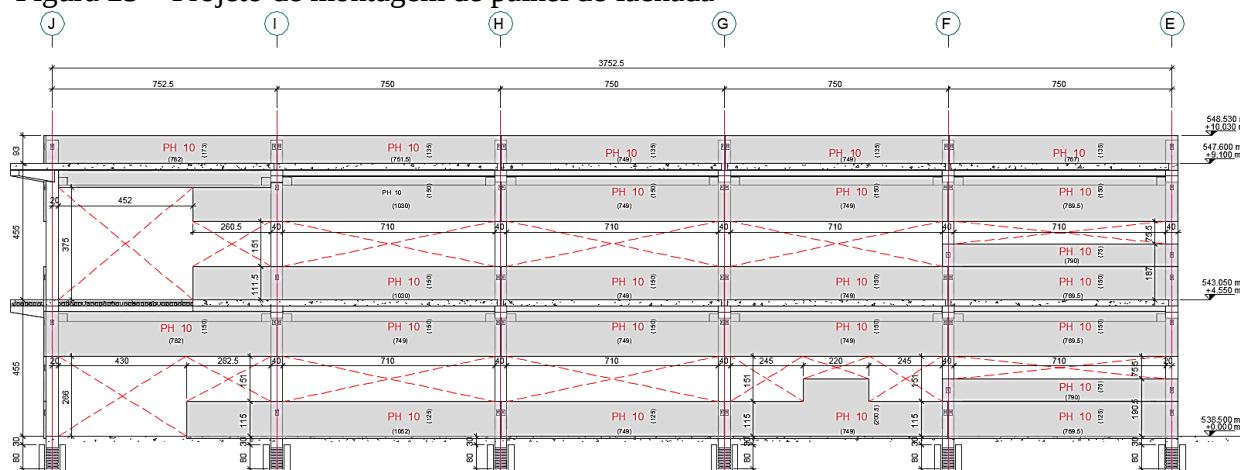
Figura 24 – Acessório de encaixe angular no pilar, peça de conexão pilar-painel, acessório no painel para apoio no acessório



Fonte: Arquivo pessoal

O projeto de montagem dos painéis (Figura 25) é bem simples e segue o esquema das fachadas com a identificação das peças. Iniciando a instalação (Figura 26) pela primeira fileira de baixo para cima, sempre é necessário o acerto do nível da placa para que as peças subsequentes mantenham o mesmo alinhamento.

Figura 25 – Projeto de montagem de painel de fachada



Fonte: Projeto de escada fornecido por empresa responsável

Figura 26 – Montagem dos painéis segundo projeto de fachada



Fonte: Arquivo pessoal

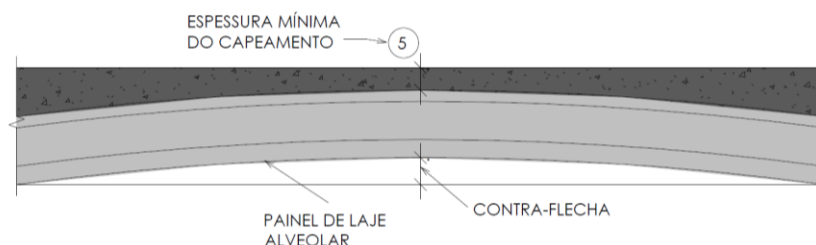
4.2.7 Capeamento

O capeamento é a última etapa necessária da estrutura pré-moldado de forma que esteja agora finalizada e pronta para a entrada dos acabamentos. O capeamento (Figura 27) age como um contra-piso, unindo as peças individuais da laje em uma peça unificada que trabalha como uma.

Segundo orientação da Norma 9062 é obrigatório em toda área em que houver lajes alveolares a execução da capa de concreto com no mínimo cinco centímetros, podendo ser mais, com tela armada nos dois sentidos. A superfície prévia a execução do piso, deve ser

rigorosamente limpa de qualquer poeira, resíduos, graxa e as peças devem estar saturadas, molhadas duas horas antes do início da concretagem. Após, recomenda-se a cura úmida da superfície por pelo menos sete dias com o objetivo de minimizar a fissuração por retração do concreto.

Figura 27 – Procedimento de execução de capeamento



Fonte: Projeto de escada fornecido por empresa responsável

5 CONCLUSÃO

Ao final desta pesquisa teórica e prática pode-se concluir que a complexidade do pré-fabricado se concentra na tecnologia industrial empregada em entregar um produto de qualidade com controle rigoroso de produção, e justamente esta é a vantagem da utilização desse método construtivo, pois quando as peças chegam na obra, a sua montagem é mais limpa e rápida.

Essa tecnologia em constante estudo e aprimoramento com aplicabilidade em quase todos os âmbitos construtivos tem um futuro promissor e só tem a melhorar em desempenho e vida útil. Pela experiência prática demonstrada é possível assimilar que o trabalho de montagem apesar de requerer cuidados com a segurança, utiliza-se de ferramentas e maquinários simples

REFERÊNCIAS

ABCIC, Curso Básico. **Pré – Fabricados De Concreto Fabricados De Concreto**. 2015. Disponível em: <https://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/C.%20Basico%20Abcic.pdf>. Acesso em: 9 out. 2023.

AQUI, Rio de Janeiro. **Hipódromo da Gávea**. 2023. Disponível em: https://www.riodejaneiroaqui.com/pt/hipodromo-da-gavea.html#google_vignette. Acesso em: 14 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7197 - Projeto de Estruturas Protendidas**, 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/97478985/NBR-7197-Projeto-de-Estruturas-Protendidas>. Acesso em 5 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**, 2017. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/14026/material/NBR9062_2017.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO À FORÇA CORTANTE**. 2021. Disponível em: <https://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Cortante.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **DISCIPLINA: 2182 - ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO**. 2020. Disponível em: https://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/pag_pre-moldados.htm. Acesso em: 20 ago. 2023.

CONCRETO, Portal do Concreto. **Concreto Pré-Moldado**. 2023. Disponível em: <https://www.portaldoconcreto.com.br/concreto-pre-moldado>. Acesso em: 20 out. 2023.

DONIAK, Í. L. O. **Estruturas Pré-fabricadas de Concreto Do projeto à obra pronta**. 2023. Disponível em: <https://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Curso%20Estruturas%20Iria.pdf>. Acesso em: 24 out. 2023.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2ª ed., 2017, 456p.

FERREIRA, M. A. **Pré-fabricados de concreto**. 2023. Disponível em: <https://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Marcelo.rar>. Acesso em: 22 ago. 2023.

KNÖNER, N. **Sistema pré-fabricado para aplicação em construções provisórias de canteiros de obras**. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4694/5987.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 nov. 2023.

LAGES, Luiz Eduardo. **Quatro Imagens Majestosas Do Hipódromo Da Gávea**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <http://luizeduardolages.com/coluna4.htm>. Acesso em: 5 nov. 2023.

NAVARRO, R. F. **A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna.** Revista eletrônica de materiais e processos, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2006.

OLIVEIRA, Daniel Freitas Caputo. **CONCRETO PRÉ-MOLDADO: PROCESSOS EXECUTIVOS E ANÁLISE DE MERCADO.** 2015. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A9SFZ8/1/monografia_final.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

PARANÁ, Universidade Tecnológica Federal do. **01 - Pré-fabricados de concreto - princípios básicos,** 2023. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/arthurmedeiros/tecnologia-de-pre-fabricados/01%20-%20Pre-fabricados%20de%20concreto%20-%20Principios%20basicos%20-%202017.pdf/view>. Acesso em: 20 ago. 2023.

PFEIFER, W. K. **Projeto de Consolo de Concreto Armado de Alta Resistência Com Uso do Método das Bielas e Tirantes.** 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169847/001051021.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 out. 2023.

PREFABRICAR. **A História do Pré-Fabricado no Mundo.** 2023. Disponível em: <https://prefabricar.com.br/a-historia-do-pre-fabricado-no-mundo/>. Acesso em: 15 out. 2023.

PRÉVALE. QUALIDADE. 2023. Disponível em: <https://www.prevale.com.br/qualidade>. Acesso em: 14 set. 2023.

SERRA, S. M. B. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto.** 2005. Disponível em: https://www.academia.edu/40444654/Evolu%C3%A7%C3%A3o_dos_Pr%C3%A9_fabricados_de_Concreto_Evolution_of_Precast_Concrete_Systems. Acesso em: 7 nov. 2023.

VAN ACKER, Arnold. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto.** 2023. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Fib.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

VASCONCELOS, A. C. de. **O concreto no Brasil.** São Paulo: Studio Nobel, 2002. 3 v.