

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA – UEL  
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO ARQUITETÔNICO:  
COMPOSIÇÃO E TECNOLOGIA DO ESPAÇO CONSTRUÍDO

Daniela Gomes Corazza de Souza

A PRÉ-FABRICAÇÃO E A ARQUITETURA

Londrina

2013

Daniela Gomes Corazza de Souza

## A PRÉ-FABRICAÇÃO E A ARQUITETURA

Monografia apresentada à Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em projeto arquitetônico.

Orientador: Professor Doutor Antonio Carlos Zani

Londrina

2013

Daniela Gomes Corazza de Souza

## A PRÉ-FABRICAÇÃO E A ARQUITETURA

Monografia apresentada à Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em projeto arquitetônico.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2013.

BANCA EXAMINADORA

---

Professor Doutor Antonio Carlos Zani

---

---

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ser sempre minha força em todos os momentos da minha vida.

Também sou imensamente grata ao meu esposo Rafael, pela paciência, amor e suporte dado para que eu pudesse concluir essa especialização, pois sem ele não seria possível.

Aos meus pais, especialmente a minha mãe, por sempre se mostrar disponível e cuidar do nosso filho Gabriel nos dias em que eu precisava estudar.

Finalmente, agradeço a todos os professores desta pós-graduação, que tanto colaboraram para meu aperfeiçoamento profissional, especialmente ao Professor Doutor Antonio Carlos Zani, meu orientador.

## RESUMO

O mercado da construção civil tem exigido cada vez mais soluções sustentáveis, eficientes, rápidas e seguras para as edificações. Dentro desse cenário, a solução pré-fabricada pode atender às exigências atuais, porém seu uso ainda pode ser considerado tímido no Brasil. Como justificativas para essa baixa utilização (a despeito das inúmeras vantagens do sistema pré-fabricado) cita-se a falta de incentivos fiscais, o apego aos métodos tradicionais de construção e, principalmente, o desconhecimento da técnica de projetar utilizando esse sistema. Observa-se que a solução pré-fabricada, seja ela de aço, madeira ou concreto, exige maior nível de atenção quanto à elaboração do projeto arquitetônico, tendo-se em vista a impossibilidade de se recorrer às frequentes improvisações normalmente verificadas no sistema moldado in loco. Dessa maneira, a presente pesquisa tem por objetivo dismitificar a industrialização da construção civil no cenário nacional, uma vez que sua imagem está muitas vezes erroneamente associada às edificações de grande porte ou com pouco apelo estético. Para tanto, o presente trabalho foi desenvolvido tomando por base os sistemas industrializados em concreto estrutural, apresentando diretrizes básicas de projeto, de maneira que o arquiteto tenha condições de conhecer melhor o sistema de pré-moldagem e pré-fabricação. Finalmente, observa-se que conhecimentos básicos relacionados ao pré-dimensionamento estrutural, propriedades dos materiais, interação entre sistemas e modulação, podem melhorar significativamente a forma de projetar construções pré-moldadas em concreto.

Palavras-chave: Concreto; pré-fabricação; construção industrializada; projeto.

## ABSTRACT

The construction market has been requiring sustainable, efficient, fast and safe solutions for buildings. Within this scenario, the prefabricated solution could be considered as an alternative for this demand, however its utilization is still considered modest in Brazil. As reasons for this low utilization (despite the numerous advantages of the prefabricated system) one may mention the lack of tax incentives, attachment to traditional methods of construction and the lack of technical knowledge using this system. The prefab solution (be it in steel, wood or concrete) requires a great level of attention during the conception of the architectural drawings. This situation is due to the fact that prefab constructions do not bear the same improvisations normally applied in the classical systems using masonry and reinforced concrete structure molded in the local. In this way, the present research aims to demystify the industrialization of the civil construction on the national scene, once its image is often associated with warehouses or constructions with low aesthetic appeal. Therefore, this study has been developed taking into account the industrial systems based on the precast reinforced or prestressed concrete. Many design guidelines are presented, in a way that the architect may better understand the prefabricated system using structural concrete. Finally, one may observe that basic knowledge regarding the structural conception, material properties, interaction among systems and modulation concept can significantly improve the ways of design constructions using precast concrete.

Key-words: Concrete; prefabricated; industrialized construction; design.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. O CONCRETO</b>	4
2.1 Principais Características	5
2.2 Definições Normativas	8
<b>3. CONCRETO PRÉ-MOLDADO</b>	10
3.1 Aceno Histórico	12
3.2 Vantagens e Desvantagens	25
3.3 Sistemas Estruturais	33
3.3.1 Sistema Esqueleto	36
3.3.2 Sistema Aporticado	37
3.3.3 Sistema Parede Portante e de Fechamento	38
3.3.4 Sistema Celular	39
<b>4. PROJETO</b>	41
4.1 Diretrizes para o Projeto Arquitetônico	41
4.1.1 Modulação	45
4.1.2 Padronização	46
4.1.3 Interação com Outros Sistemas	47
4.2 Concepção Estrutural	49
4.3 Pré-Dimensionamento dos Elementos Estruturais	52
4.3.1 Pré-Dimensionamento de Vigas Pré-Moldadas	52
4.3.2 Pré-Dimensionamento de Pilares Pré-Moldados	54
4.3.3 Pré-Dimensionamento de Lajes Pré-Moldadas	56
<b>5. ESTUDO DE CASO</b>	63
5.1 Casa Gerassi	63
<b>6. CONCLUSÕES</b>	76
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – The Millard House, de Frank Lloyd Wright em Pasadena – Los Angeles	13
Figura 2 – Detalhe dos blocos vazados texturizados	13
Figura 3 – Vista interna da Millard House	13
Figura 4 – Maison Suisse, de Le Corbusier	14
Figura 5 - Viyella House, Nottingham	15
Figura 6 – Centro de Investigação Skidmore Owing & Merrill Heinz	17
Figura 7 – Protótipo para habitação estudantil – UnB	19
Figura 8 – Instituto Central de Ciencias - maquete	19
Figura 9 – Centro de Planejamento – CEPLAN, UnB	20
Figura 10 – Blocos de apartamento para professores da UnB - Colina	21
Figura 11 – ICC	22
Figura 12 – ICC	22
Figura 13 – Bracken House, Londres.	23
Figura 14 – Glyndebourne Opera House, Sussex.	23
Figura 15 - Inland Revenue, Nottingham.	24
Figura 16 - The Strijkijzer, Haia – Holanda.	25
Figura 17 – Central de produção de concreto auto-adensável	26
Figura 18 – Processo de fabricação de painéis para vedações.	27
Figura 19 – Processo de montagem automatizado de armação para vigas e pilares	28
Figura 20 – Processo de moldagem e utilização de viga tesoura protendida	29
Figura 21 – Processo de fabricação de lajes alveolares	30
Figura 22 - U.S Conventional System	35
Figura 23 – Sistema Aluizio A.M. D’ávila	35
Figura 24 – Sistema de uma estrutura esqueleto	36
Figura 25 – Sistema de uma estrutura aporticada	37
Figura 26 – Vigas tesoura utilizadas em sistema aporticado	38
Figura 27 – Exemplo de estrutura de painéis combinada com estrutura em esqueleto	39
Figura 28 – Exemplos de elementos tridimensionais	40
Figura 29 – Esquemas construtivos com elementos tridimensionais	40



Figura 30 – Unidades de laje alveolar com labirinto interno para circulação de ar	48
Figura 31 - Seções transversais utilizadas em vigas pré-moldadas	53
Figura 32 - Exemplo de seções padronizadas de vigas pré-moldadas	54
Figura 33 - Exemplo de determinação de áreas de influência de pilares	55
Figura 34 - Seções transversais utilizadas em pilares pré-moldados	56
Figura 35 - Laje pré-fabricada convencional	57
Figura 36 - Lajes treliçadas com elementos de enchimento em EPS e blocos cerâmicos	57
Figura 37 - Laje treliçada unidirecional com blocos de EPS	58
Figura 38 - Laje treliçada unidirecional com blocos cerâmicos	58
Figura 39 - Laje treliçada bidirecional com blocos de EPS	58
Figura 40 - Laje treliçada bidirecional com blocos de EPS	59
Figura 41 - Laje pré-moldada do tipo Pi ou Duplo T	60
Figura 42 - Dimensões da laje pi fabricada pela Cassol	60
Figura 43 - Laje alveolar com capa de concreto e sujeita a aberturas	61
Figura 44 - Dimensões da laje alveolar LP20 produzida pela empresa Protendit	62
Figura 45 - Lajes alveolares LP15 e LP20 produzidas pela empresa Cassol	62
Figura 46 – Casa Mendes André (1966) – Vilanova Artigas	63
Figura 47 – Casa Telmo Porto (1968) – Vilanova Artigas	64
Figura 48 – Casa Telmo Porto (1968) – Vilanova Artigas	64
Figura 49 - Fachada da Casa Gerassi	65
Figura 50 – Pavimento térreo da Casa Gerassi	66
Figura 51 - Planta do Pavimento Superior da Casa Gerassi	66
Figura 52 - Corte longitudinal da Casa Gerassi	67
Figura 53 – Corte transversal da Casa Gerassi	67
Figura 54 – Presença de planta livre e janela em fita na Casa Gerassi	68
Figura 55 – Vistas internas do segundo piso da Casa Gerassi	69
Figura 56 – Calarabóia e grelha utilizadas para iluminação natural	70
Figura 57 – Detalhe de iluminação na cozinha e caixa d’água apoiada em pilar	71

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto pré-moldado pode ser uma alternativa muito atraente para se construir de maneira mais econômica, eficiente, segura, durável e sustentável, além de apresentar-se como uma solução estruturalmente segura e com grande versatilidade arquitetônica.

Contudo, a utilização de elementos em concreto pré-moldado ainda é bastante tímida entre muitos engenheiros e arquitetos, muitas vezes tomando-se como justificativa a falta de beleza arquitetônica destas construções.

A realidade é que todo sistema construtivo tem características próprias e, para melhores resultados, o projeto deve respeitar as demandas particulares e específicas do sistema adotado, desde sua concepção (VAN ACKER, 2002). Com o concreto pré-moldado isso não é diferente e desde que as peças sejam bem planejadas no nascimento do projeto, pode-se obter edificações em concreto pré-moldado com formas ousadas, dotadas de beleza arquitetônica.

Na Europa Ocidental e nos Estados Unidos, por exemplo, está em voga uma nova filosofia para o uso do concreto pré-moldado, chamada de “novo concreto pré-moldado”, onde há uma busca por soluções personalizadas, aumentando a flexibilidade de projeto e produção (EL DEBS, 2000). Deve-se observar que, se as peças pré-moldadas forem bem concebidas, pode-se inclusive produzir as mesmas em escala industrial, introduzindo-se assim a pré-fabricação.

Nesse momento, é oportuna a diferenciação entre concreto pré-moldado e concreto pré-fabricado, uma vez que se observa na prática grande confusão entre definições distintas, com uma tendência de se achar que concreto pré-moldado e concreto pré-fabricado são a mesma coisa.

De acordo com EL DEBS (2000), o termo concreto pré-moldado é utilizado para denominar a utilização de elementos pré-moldados de concreto, sendo estes elaborados “... *fora de sua posição definitiva de utilização na construção*”. Esse processo aliado à produção em larga escala, resulta na pré-fabricação, o que leva à industrialização da construção.

A ABNT por meio da NBR9062 (1985) faz distinção entre elemento pré-fabricado e elemento pré-moldado diferente da apresentada anteriormente. Essa diferenciação é feita com base no controle de qualidade da execução do elemento.

Por outro lado, a NBR9062 (1985) define elemento pré-fabricado como sendo aquele que é “...*executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiro de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade*”. Já o elemento pré-moldado, ainda segundo a norma, é aquele “...*executado fora do local de utilização definitiva na estrutura*”, e apresenta controle de qualidade menos rigoroso que o do elemento pré-fabricado.

VAN ACKER (2002) também concorda que a industrialização em grande escala de unidades idênticas está em desuso, e que, um projeto arquitetônico econômico pode ser conseguido através de um processo de produção eficiente combinado a um trabalho especializado. Para o autor, são diversas as tipologias adequadas para o sistema pré-moldado, mas são as de planos ortogonais as ideais. Elas apresentam a possibilidade de repetição em sua malha estrutural, o que facilita a modulação, conseguindo desse modo uma maior economia na construção, mesmo que não seja utilizado o sistema pré-moldado.

Ainda segundo VAN ACKER (2002), apesar de ser interessante que se dê preferência às tipologias de projeto com maior ortogonalidade, sabe-se que mesmo as plantas mais irregulares, podem se adaptar se não totalmente, ao menos parcialmente para a pré-fabricação, já que o sistema pré-moldado pode apresentar sim, flexibilidade arquitetônica. Edifícios modernos com vinte pavimentos, ou mais, podem ser projetados e construídos com grande variedade de planos e tratamentos das elevações.

Portanto, fica claro que para que bons projetos para sistemas pré-fabricados possam ser concebidos, é necessário um conhecimento específico sobre a técnica a ser utilizada, e é com o intuito de aprimorar esse conhecimento, que este trabalho foi desenvolvido.

Para tanto, nas próximas páginas será aprofundada as diversas questões que envolvem o sistema pré-moldado. No Capítulo 2, será feita uma explanação breve sobre o material utilizado na técnica em questão, o concreto, seu surgimento, componentes e variações.

No Capítulo 3, será apresentado um aceno histórico acerca da técnica dos elementos pré-moldados, bem como suas vantagens e desvantagens. Ainda neste capítulo, serão apresentados os principais sistemas estruturais utilizados nas edificações pré-moldadas e pré-fabricadas, além de exemplos e aplicações.

No capítulo 4 são abordadas questões técnicas relacionadas a pratica do projeto arquitetônico para construções pré-moldadas e/ou pré-fabricadas. Isso inclui direcionar o método projetual adotado, para que se obtenha o máximo de eficiência oferecido pelo uso de pré-moldados, além de valorar a necessidade da integração entre o projeto arquitetônico com os projetos complementares (hidráulico e elétrico), relatando algumas maneiras de como fazê-la. Ainda nesse capítulo, serão apresentadas noções básicas de pré-dimensionamento de elementos pré-moldados, tendo em vista a importância desse conhecimento para que se produzam projetos mais próximos da realidade do sistema construtivo, evitando muitas adaptações por parte do engenheiro de estruturas.

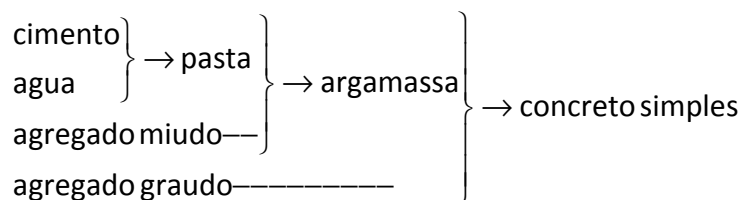
Finalmente, no Capítulo 5, apresenta-se um estudo de caso em relação à aplicação do concreto pré-moldado. Para tanto, selecionou-se a Casa Gerassi, do arquiteto Paulo Mendes da Rocha, que por sua vez se constitui um ótimo exemplo para assimilação dos conceitos discutidos ao longo do presente trabalho.

Espera-se que esta pesquisa possa contribuir na difusão do concreto pré-moldado, facilitando assim o trabalho de arquitetos na concepção racional das edificações que tomem proveito dessa solução tecnológica.

## 2. O CONCRETO

Diversos são os materiais que podem ser utilizados em construções, entre eles o concreto estrutural, os blocos cerâmicos, o alumínio, o aço e a madeira. No entanto, não se tem notícia de material mais versátil e mais barato do que o concreto. Talvez esse fato explique o imenso consumo desse material mundo afora, seja na sua forma mais simples (concreto simples sem armaduras) ou na sua forma mais complexa (concreto armado, concreto pré-moldado, concreto protendido, concreto de alta resistência e concreto reforçado com fibras entre outras possibilidades).

De acordo com ISHITANI et al (2001), o concreto é um material composto, preparado por ocasião de sua aplicação. É constituído por uma mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inertes e água. Apresenta vantagens diversas como moldabilidade (concretado sobre formas), durabilidade, facilidade executiva (mão de obra normal) e baixo custo. O concreto simples é composto de



Os tipos de cimento disponíveis no mercado para a confecção do concreto são apresentados a seguir, sendo que o Cimento Portland é o mais consumido no mercado:

CP - cimento Portland (NBR 5732); ex.: CP 25, CP 32, CP 40;

AF - de alto forno (NBR 5735); ex.: AF 25, AF 32;

ARI - alta resistência inicial (NBR 5733);

ARS - alta resistência a sulfatos (NBR 5737);

MRS - moderada resistência a sulfatos (NBR 5737);

POZ - pozolânico (NBR 5736).

Os agregados a serem utilizados na confecção do concreto podem ser de origem natural (areia e pedregulho) ou artificial (pedrisco e pedra britada). De acordo com a granulometria dos grãos é feita a separação em agregado graúdo ou miúdo, conforme a seguir:

- agregado miúdo: quando é retido menos do que 5% do total na peneira com malha de abertura de 4,8mm;
- agregado graúdo: quando passa menos do que 5% do total na peneira com malha de abertura de 4,8mm.

A proporção entre os diversos componentes constituem o traço do concreto. Assim, um traço igual a 1:2:3 corresponde as proporções (em volume ou peso) necessária de cimento, areia e pedra, respectivamente. O fator água/cimento (a/c) constitui parâmetro de grande importância para o concreto, pois influi diretamente na sua resistência. Normalmente valores na ordem de 0,50, isto é, 50 litros de água para cada 100 kg de cimento são suficientes para se obter um concreto com boa resistência. Para concretos com resistência mais elevadas há necessidade de se reduzir o fator a/c e isso pode ser conseguido com o emprego de superplastificantes.

## **2.1 Principais Características**

O concreto apresenta excelentes características, conforme visto a seguir, mas sem dúvida alguma as características de moldabilidade e baixo custo trazem vantagens imensas no uso do concreto.

O concreto apresenta boa resistência a compressão,  $f_{ck}$  (tensão normal de ruptura a compressão), normalmente, variando entre 10 MPa (1 kN/cm<sup>2</sup>) e 40 MPa (4 kN/cm<sup>2</sup>). Por exemplo, uma barra curta comprimida de seção quadrada de 20 cm de lado resistiria a  $20 \times 20 \times 1,0 = 400 \text{ kN}$  ( $\cong 40 \text{ tf} = 40000 \text{ kgf}$ ), o que equivale ao peso de mais de 40 veículos de passeio;

Um problema que aflige as peças em concreto é a baixa resistência à tração,  $f_{ct}$  (tensão normal de ruptura a tração), da ordem de  $f_{ck}/10$ . Esta baixa resistência à tração torna o concreto simples inadequado para peças sujeitas a flexão. Esta deficiência do concreto, por causa de sua baixa resistência à tração, é contornada através de sua associação com armaduras; resulta, assim, o concreto armado.

Os efeitos da variação de temperatura são importantes para o concreto, chegando a exigir a utilização de juntas de dilatação. Considerando uma variação de temperatura  $\Delta T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , usualmente admitida nos projetos de estruturas, tem-se a seguinte deformação:

$$\Delta l = l \cdot (\alpha_t \cdot \Delta T) = l \cdot \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t = \alpha_t \cdot \Delta T = 10^{-5} \cdot 15 = 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,15 \text{ mm/m}$$

Se esta deformação for impedida, as tensões normais correspondentes seriam da ordem de  $\sigma_t = E_c \cdot \varepsilon_t = 20000 \cdot (0,15 \cdot 10^{-3}) = 3 \text{ MPa}$ . Tensões desta ordem, quando de tração (queda de temperatura com deformação impedida), podem levar a peça à ruptura por tração.

Estes problemas são atenuados através de juntas de dilatação e, de apoios com vínculos criteriosamente definidos. Estas juntas reduzem os comprimentos dos trechos contínuos e, conseqüentemente, os deslocamentos impostos aos seus apoios. Estes por sua vez são projetados de modo a reduzir o impedimento à deformação livre da estrutura.

#### Retração do concreto

Em ambiente normal, o concreto sofre diminuição de volume no decorrer do tempo, independente de qualquer solicitação. Este fenômeno é denominado retração do concreto e depende de vários fatores: umidade do meio ambiente, espessura das peças, etc. Em peças livres alongadas, resulta em deformação de encurtamento, com valor assintótico no tempo infinito, da ordem de  $\varepsilon_s = -15 \cdot 10^{-5}$  ("shrinkage"). Costuma-se relacionar este encurtamento com uma variação (queda) equivalente de temperatura. No cálculo das estruturas, esta variação equivalente de temperatura deve ser adicionada à variação de temperatura

propriamente dita. Em casos de queda de temperatura, poder-se-ia chegar a um efeito global da ordem de (-30 °C).

O concreto quando solicitado permanentemente, apresenta um incremento adicional de deformação ( $\epsilon_{cc}$ ) ao longo do tempo. Este fenômeno é conhecido por fluência do concreto ("creep"). Normalmente, admite-se que esta deformação seja proporcional à deformação imediata ou inicial,  $\epsilon_{co}$ .

$$\epsilon_{cc} = \varphi \epsilon_{co}$$

onde,  $\varphi$ , denominado coeficiente de fluência, é crescente assintoticamente para valores da ordem de 2 a 3 no tempo infinito ( $\varphi_{\infty} = 2$  a 3). Este coeficiente é função de vários fatores: umidade do meio ambiente, tipo de cimento, espessuras das peças, etc.

Portanto, em cada instante, a deformação total é dada por

$$\epsilon = \epsilon_{co} + \epsilon_{cc} = \epsilon_{co} (1 + \varphi)$$

chegando-se a até quadruplicar a deformação inicial.

O concreto apresenta ainda valores de módulo de elasticidade ( $E_c$ ) variando entre 20000 MPa a 35000 Mpa e coeficiente de dilatação térmica ( $\alpha_t$ ) de  $10^{-5} \cdot ^\circ C^{-1}$ . Essas propriedades fornecem boa deformabilidade e adequada compatibilidade perante a efeitos de temperatura quando em conjunto com as armaduras metálicas.



## 2.2 Definições Normativas

### a) Concreto Estrutural

Segundo a NBR 6118 (2003), item 3.1.1, concreto estrutural é o “Termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural”. O concreto estrutural pode ser classificado ainda como concreto simples, concreto armado e concreto protendido. Dependendo de como o material é moldado e produzido, pode ser ainda classificado em concreto pré-moldado e concreto pré-fabricado.

### b) Concreto Simples

Elementos em concreto simples, conforme a NBR 6118 (2003) (item 3.1.2) são “elementos estruturais elaborados com concreto que não possui qualquer tipo de armadura ou que a possui em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado”. O concreto simples caracteriza-se por sua boa resistência à compressão, e por uma reduzida resistência à tração, usualmente menor que 10% de sua resistência à compressão.

### c) Concreto Armado

De acordo com a NBR 6118 (2003), item 3.1.3, os elementos de concreto armado são “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”. Nas estruturas de concreto armado, armaduras de aço são dispostas nas regiões tracionadas das peças, de maneira a superar a baixa resistência à tração do concreto simples.

### d) Concreto Protendido

Elementos em concreto protendido, conforme a NBR 6118 (2003), item 3.1.4, são “aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de

protensão com finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último (ELU)”. A protensão surge como uma solução interessante na diminuição da esbeltez de peças de grandes vãos, permitindo que flechas e fissuras sejam controladas de uma maneira muito mais eficiente do que no caso do concreto armado.

#### e) Concreto Pré-Moldado

De acordo com a NBR 9062 (1985), item 3.5, pode-se definir um elemento em concreto pré-moldado como aquele “executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade”. A utilização do concreto pré-moldado possibilita a obtenção de peças com excelente acabamento superficial, bem como com maior nível de resistência, uma vez que utilizam-se materiais de melhor qualidade.

#### f) Concreto Pré-Fabricado

De acordo com a NBR 9062 (1985), um elemento em concreto pré-fabricado é um “elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade”. Pode-se dizer que a padronização de peças pré-moldadas de concreto objetivando a produção em escala dá origem ao que pode ser classificado como concreto pré-fabricado.

### 3. CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Uma das características do concreto simples é a sua baixa resistência à tração. Ela inviabiliza o seu uso em certas peças, como nos tirantes e nas vigas. Para contornar esta deficiência, surgiu a idéia de associar o concreto simples ao aço, que apresenta ótima resistência à tração. Surge dessa maneira o concreto estrutural, que pode ser classificado conforme abaixo:

concreto simples }  
armadura passiva } → concreto armado

concreto simples }  
armadura ativa } → concreto protendido

Em princípio, o alinhamento das barras que compõem a armadura deve seguir a trajetória das tensões principais de tração. Assim, ao ocorrer a ruptura do concreto da zona tracionada da seção, a armadura tem condições de “costurar” as partes resultantes, restando apenas uma fissura como registro desta ruptura. Pode-se, assim, garantir a capacidade portante do elemento estrutural à custa da armadura com a presença de fissuras (fissuração).

Quando é utilizada na composição da peça a armadura livre de solicitações iniciais, tem-se o concreto armado. Caso, contrário, isto é, quando a armadura é aplicada já com certo estiramento inicial, tem-se o concreto protendido. Neste caso, quando as condições de endurecimento do concreto permitir, ele, também, é submetido a tensões iniciais. Estas solicitações iniciais se contrapõem aquelas provenientes da aplicação das cargas.

Quando os elementos em concreto armado ou protendido são previamente moldados, de maneira que as peças são encaminhadas já prontas para as edificações, surge então o concreto pré-moldado. As peças pré-moldadas podem ser tanto de concreto armado quanto de concreto protendido e sua utilização tem possibilitado grandes benefícios para a industrialização da construção civil.

De acordo com ISHITANI et al (2001), para a viabilização do concreto armado ou protendido, pré-moldado ou não, concorrem três fatores fundamentais:

- Aderência entre o concreto e a armadura

Este fator é muito importante, pois permite a mobilização da armadura imersa na massa de concreto. Em geral, são aplicadas mossas e saliências tornando a conformação superficial da barra apropriada para garantir a aderência.

As vigas adequadamente projetadas apresentam, junto à borda tracionada, fissuras discretas de pequena abertura que introduzem aí um comportamento singular. Contudo, observa-se o estabelecimento de um panorama de fissuração estabilizado com um comportamento, também, estabilizado. Isto permite, do ponto de vista macroscópico, admitir que a aderência possa ser considerada perfeita, sem escorregamento aparente entre os materiais. Esta consideração constitui uma das hipóteses básicas da teoria de solicitações normais no concreto armado.

- Proteção da armadura pelo concreto

A armadura é protegida pelo concreto que a envolve, atenuando o efeito de sua corrosão. As fissuras de pequena abertura, praticamente, não afetam a corrosão. Daí, a importância em se garantir a presença de fissuras de pequena abertura e o envolvimento eficiente das armaduras. Procura-se atender estas necessidades através da observância de aberturas limites para as fissuras e, de um cobrimento mínimo das armaduras, valores estes determinados experimentalmente.

- Coeficientes de dilatação térmica de valores próximos.

Os elementos estruturais estão sujeitos a variação de temperatura. O concreto e o aço que constituem o concreto estrutural, tendem a apresentar deformações, dadas pelo produtos da variação de temperatura ( $\Delta T$ ) pelos respectivos coeficientes de dilatação térmica. Estas

deformações poderiam provocar o aparecimento de tensões internas, eventualmente, destruindo a ligação entre o concreto e o aço, ou seja, eliminando a aderência, de fundamental importância para o concreto armado. Felizmente, este problema é praticamente eliminado pelo fato dos coeficientes de dilatação dos dois materiais apresentarem valores muito próximos entre si.

A seguir, apresenta-se um breve histórico do desenvolvimento do concreto pré-moldado, observando que sua história se confunde com a própria criação do concreto.

### **3.1 Aceno Histórico**

Segundo VASCONCELLOS (2002), não se pode precisar a data em que começou a pré-moldagem. O próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos, fora do local de seu uso. Sendo assim, pode-se afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do concreto armado.

EL DEBS (2000), também relaciona a pré-moldagem com o desenvolvimento do concreto armado, lembrando que o barco de Lambot, de 1848, e os vasos de Monier, de 1849, foram as primeiras peças de concreto armado pré-moldado. Segundo FUSCO (2008), Coignet (engenheiro) e Hyatt (advogado) também são citados como precursores no uso do concreto pré-moldado.

De acordo com BALLARIN (1993), as primeiras tentativas de utilização de pré-fabricados surgiram em 1891, em Paris, através da utilização de vigas de concreto no Cassino de Biarritz.

Arquitetos e engenheiros nos primeiros anos do Século XX, logo reconheceram o potencial do concreto armado ou protendido, embora na maioria dos casos tenha se preferido uma moldagem convencional ao invés da realização de uma pré-moldagem (DAWSON, 2003).

De acordo com DAWSON (2003), Frank Lloyd Wright foi um dos primeiros arquitetos a experimentar o concreto pré-moldado. A aplicação se deu na forma de blocos vazados feitos com uma mistura de gesso semi-seco acondicionada em moldes de madeira com relevo. Wright gostava de acrescentar à mistura, terra e areia encontrados no local, com a intenção de dar uma cor "natural" aos blocos. A casa Storer e Millard, Los Angeles (Figura 1, 2 e 3), foram construídas em 1923, usando esse "bloco texturizado".



Figura 1 – The Millard House, de Frank Lloyd Wright em Pasadena – Los Angeles

(Fonte: [www.millardhouse.com](http://www.millardhouse.com))



Figura 2 – Detalhe dos blocos vazados texturizados

Fonte: [www.millardhouse.com](http://www.millardhouse.com)



Figura 3 – Vista interna da Millard House

Fonte: [www.millardhouse.com](http://www.millardhouse.com)

O sistema consiste em empilhar os blocos, formando paredes e pilares que suportam as vigas. Wright texturizou a superfície dos blocos pré-fabricados, com a intenção de obter um efeito que fosse semelhante à natureza dos outros materiais utilizados, tais como madeira e rocha. O sistema não se consolidou e foi incapaz de competir economicamente com as estruturas de plataforma de madeira, o método mais popular para construção de casas nos EUA.

Segundo FIGUEROLA (2008), entre 1926 e 1928, o arquiteto alemão Walter Gropius incorporou os conceitos de racionalização e padronização dos componentes de concreto para construir as 316 moradias do conjunto habitacional Torton, em Dessau, na Alemanha. O projeto, que tinha como objetivo diminuir o valor da habitação, entraria para a história por ser um dos pioneiros na utilização de conceitos inovadores como a standardização da moradia e a sistematização do canteiro de obras.

Em 1930, Le Corbusier completou a Maison Suisse (Figura 4), um edifício para uma universidade nos arredores de Paris. O edifício é um bloco de quatro andares, retangular, construído sobre pilotis, com uma cortina de paredes leves montadas sobre duas longas elevações e paredes cegas feitas em painéis de concreto pré-moldado nas outras elevações. Esta foi provavelmente a primeira utilização de pré-moldado em grande escala e foi um projeto que teve grande influencia nos subseqüentes edifícios altos. (DAWSON, 2003)



Figura 4 – Maison Suisse, de Le Corbusier

Fonte: [www.galinsky.com/buildings/swiss](http://www.galinsky.com/buildings/swiss)

Na Inglaterra, um dos primeiros edifícios a utilizar o concreto estrutural e elementos pré-moldados imitando pedras (Cast Stone) foi o Frank Broadhead de Viyella House, construído no ano de 1932 em Nottingham, Reino Unido.

O sistema estrutural utilizado consiste em lajes cogumelo apoiadas em colunas de concreto com capitel, o que possibilitou a redução da espessura da laje de concreto. O exterior da edificação é composto por uma fachada-cortina, feita com montantes de aço inoxidável e painéis leves de pedras moldadas, como ilustra a Figura 5 (DAWSON, 2003).



Figura 5 - Viyella House, Nottingham  
(Fonte DAWSONS (2003))

Ainda de acordo com DAWSON (2003), durante o final dos anos 40 e durante os anos 50, houve uma mudança singular na cadeia produtiva. A crescente mecanização da indústria da construção, em particular o desenvolvimento de guindastes, conduziu a alterações significativas no processo construtivo.

Arquitetos queriam maximizar áreas envidraçadas da fachada para criar planos de fundo, sem colunas, e interiores com conceito de plano aberto, para uso de escritório. A demanda foi criada para os grandes elementos de revestimento pré-moldados, de maneira a se obter economia de trabalho e equipamentos, além de acelerar a velocidade da construção.



O aumento no tamanho desses elementos naturalmente elevou os esforços sobre as peças pré-moldadas, levando à necessidade de uma mudança nos tipos de materiais convencionalmente utilizados até aquela ocasião. Comparado ao tradicional concreto seco, com sua baixa resistência e necessidade de compactação seca, o concreto auto-adensável, com a sua elevada resistência e fácil compactação em moldes por vibração mecânica, foi o produto mais adequado para confecção de grandes painéis.

Em contrapartida, com o sucesso da aparência dos edifícios com revestimentos imitando pedra (Cast Stone) dos anos 1920 e 1930, os edifícios produzidos com painéis pré-moldados (particularmente torres de blocos pré-fabricados produzidos por métodos industriais) sofreram muito com a aparência.

A justificativa para a falta de beleza observada nos primeiros edifícios utilizando painéis pré-moldados pode ser atribuída a uma seleção inadequada do cimento e dos agregados, bem como a falta de experiência sobre como projetar e detalhar um produto de construção relativamente novo.

Segundo FIGUEROLA (2008), somente no período pós-guerra, com a escassez de mão-de-obra qualificada nos países europeus, é que o desenvolvimento de técnicas industriais de construção ganhou força e os sistemas construtivos pré-fabricados de concreto encontraram terreno fértil para propagação.

De acordo com SALAS (1988), os anos 50 e 60 houve a necessidade de se construir muitos edifícios, tanto habitacionais quanto escolas, hospitais e indústrias, devido à falta de edificações ocasionada por demolições da guerra. Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados (painéis, contra-marcos, esquadrias, fixação e outros) procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou chamar de ciclo fechado de produção. Os ciclos fechados, especialmente aqueles à base de grandes painéis pré-fabricados, marcaram o apogeu da fase de reconstrução do Pós-Guerra na Europa, que durou até o final da década de 60.

Segundo DAWSON (2003), vários edifícios da década de 1960 provam que o cuidado com o detalhamento pode produzir painéis de revestimento que melhoraram um edifício, inclusive aumentando sua durabilidade perante as condições climáticas. O edifício do Centro de Investigação Skidmore Owing & Merrill Heinz, ilustrado na Figura 6, é um bom exemplo para ilustrar a questão. Construído em 1965, o referido edifício apresenta dois andares com colonatas na fachada, formada por colunas estruturais cruciformes com granito exposto. A colonata avança sobre um plano de janelas, design que evita a condição que afetou vários prédios contemporâneos - o escoamento de água sobre a superfície de vidro.



Figura 6 – Centro de Investigação Skidmore Owing & Merrill Heinz

Fonte: [www.som.com/project/hayes-park-heinz-renovation](http://www.som.com/project/hayes-park-heinz-renovation)

De acordo com SALAS (1988), os anos 70 e 80 na Europa, foram marcados por alguns acidentes com edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados como, por exemplo, o caso do edifício “Ronan Point”, na Inglaterra, que ruiu parcialmente após a explosão de um botijão de gás e teve sua imagem associada a um “castelo de cartas”.

Esses acidentes provocaram além de uma rejeição social a esse tipo de edifício, uma profunda revisão no conceito de utilização dos processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados. E neste contexto teve início o declínio dos sistemas pré-fabricados do ciclo fechado de produção (OLIVEIRA, 2002).

Segundo OLIVEIRA (2002), ainda na Europa depois dos anos 80), houve, em primeiro lugar, a demolição de alguns grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. E, em segundo lugar, pela consolidação de uma pré-fabricação de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis, de origens diversas.

MEOKA apud OLIVEIRA (2002) lembra que ciclo aberto de produção dispõe de processos de produção flexíveis, nos quais os componentes são de origens diversas, conseqüentemente, de diferentes produtores.

Nesta segunda geração tecnológica houve a necessidade de desenvolver um sistema de coordenação modular que possibilitasse que as peças, mesmo de diferentes produtores, apresentassem dimensões padronizadas, a fim de atenderem a vários projetos. E, paralelamente de um sistema de normas técnicas que garantissem a qualidade das edificações.

Segundo OLIVEIRA (2002), atualmente, na Europa, a construção de edifícios à base de painéis pré-fabricados de concreto é balizada por normas, principalmente, ditadas pelo British Standards Institution –BSI – e pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB.

Já a evolução das pesquisas e desenvolvimento de novos processos construtivos pré-fabricados na América do Norte deu-se a partir das experiências das construções européias do Pós-Guerra. Em decorrência disso, segundo o American Concrete Institute –ACI –(1975), a construção utilizando elementos pré-fabricados de concreto para edifícios de múltiplos pavimentos só tornou-se viável após 1960.

Ainda segundo OLIVEIRA (2002), o desenvolvimento tecnológico da construção pré-fabricada norte-americana aconteceu a partir do *benchmark* europeu e, já na década de 60, foram fundadas associações como o Precast Concrete Association – PCI, que atuam até hoje e têm o objetivo de pesquisar e balizar o mercado com informações técnicas referentes à

construção pré-fabricada, particularmente, aquela à base de painéis pré-fabricados de concreto (PCI, 1989).

No Brasil, tal como nos EUA e Canadá, não existiu uma crise aguda de falta de edificações em grande escala, como houve na Europa após a 2ª Guerra Mundial. No entanto, a preocupação com a racionalização e a “industrialização” de processos construtivos apareceu no final da década de 50.

No Brasil, mais especificamente na década de 1960, a UnB foi o palco das experimentações e avanços no campo da pré-fabricação, de acordo com VILELA JÚNIOR (2011). Nesse cenário encontravam-se Oscar Niemeyer e a equipe do CEPLAN, constituída esta por Alcides da Rocha Miranda, João Figueiras Lima (Lelé), Glauco Campelo, Ítalo Campofiorito, Carlos Machado Bittencout, Vigio Sosa, Abel Carnaúba, Oscar Kneipp, Evandro Pinto, entre outros renomados.

Devido ao fato da técnica da pré-fabricação ser ainda pouco difundida no país, a liberdade plástica de tal componente era bastante limitada. Entretanto, Niemeyer realizou alguns projetos nesta fase. Sua obra tinha a presença constante de alguns elementos, geralmente moldados in loco e colocados em destaque na composição. Tais elementos interrompem a rigidez da modulação estabelecida pelo sistema construtivo, conferindo um contraste entre as partes. A Igreja do Instituto de Teologia é um exemplar, pois suas paredes permitem planta livre. Dentre outros exemplos estão as janelas do protótipo para habitação estudantil (Figura 7), bem como as edificações complementares do conjunto do Instituto Central de Ciências (Figura 8).



Figura 7– Protótipo para habitação estudantil – UnB  
(Fonte: VILELA JUNIOR, 2011)

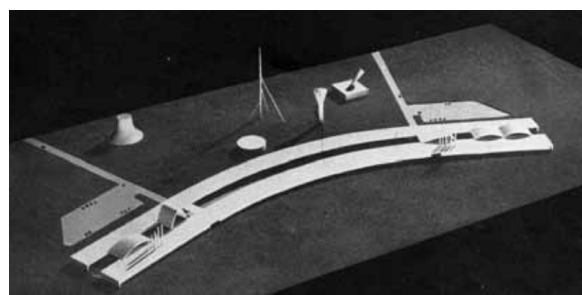


Figura 8 – Instituto Central de Ciências - maquete  
(Fonte: VILELA JUNIOR, 2011)

Na segunda metade do século XX, centros como São Paulo e Rio de Janeiro observavam uma forte urbanização e mudanças nos modos de vida da população, devido à industrialização. Isto porque o país se encontrava em um acelerado período de desenvolvimento industrial, fator este que levou Lelé a direcionar grande parte de suas pesquisas para a racionalização de componentes pré-fabricados (VILELA JÚNIOR, 2011).

VILELA JÚNIOR (2011) explica que em 1962, outra obra, o CEPLAN, foi projetada por Oscar Niemeyer. Essa edificação foi construída para subsidiar a implantação e o plano de crescimento físico da Universidade, segundo as diretrizes de urbanização do Campus estabelecido por Lucio Costa em 1961. Hoje em dia, o Centro ainda mantém relação com a Faculdade de Arquitetura, atuando como uma extensão orientada na elaboração de projetos, onde atuam engenheiros, arquitetos e demais profissionais do quadro interno, além de alunos, arquitetos recém-formados e professores da FAU.

O conceito moderno conferido ao CEPLAN pode ser observado em suas formas simples e no método construtivo racional do seu processo de montagem, como mostra a Figura 9. Foi executado em 45 dias, com uma área total de 700m<sup>2</sup>, sendo uma das primeiras edificações da UnB. A forma linear do conjunto e a modulação na distribuição dos componentes construtivos acontecem ao longo de uma estrutura pavilionar elegante e suave.



Figura 9 – Centro de Planejamento – CEPLAN, UnB

(Fonte: VILELA JUNIOR, 2011)

Ainda na década de 60, Lelé visita o Leste Europeu e União Soviética com o intuito de conhecer novas tecnologias e métodos empregados na produção em série de prédios industrializados.

Estes países passavam por um momento histórico de recuperação econômica e resolução de problemas sociais, o que distoava bastante do período de otimismo e esperança que Lelé havia presenciado no Brasil. Já nos anos 50, países como Alemanha Oriental, Tchecoslováquia, França e a própria União Soviética já detinham largo conhecimento no que se refere à industrialização das construções, dominando técnicas apuradas em pré-fabricação, bem como novas tecnologias no campo das construções.

Apesar das diferenças entre o Brasil e as cidades européias, o que mais atraiu Lelé foram os aspectos relacionados à organização industrial, as avançadas técnicas de protensão e cura do concreto a vapor. Mesmo não sendo incorporadas à cultura brasileira, técnicas empregadas em cidades do interior da Thecoslováquia serviram para solucionar diversos problemas relacionados à fabricação dos componentes construtivos em larga escala no Brasil.

Ainda de acordo com VILELA JÚNIOR (2011), Lelé projetou em 1963 o conjunto de blocos de apartamentos para professores da UnB, Figura 10, chamado Colina. Seu desenho seguiu os princípios de racionalização já empregada nos principais prédios da Universidade.



Figura 10 – Blocos de apartamento para professores da UnB - Colina

Fonte: FIGUEROLA (2008)

Ainda em 1963, iniciam-se as obras do ICC – Instituto Central de Ciências (Figuras 11 e 12). Esta obra de Oscar Niemeyer acomoda em um edifício os institutos das chamadas Ciências Puras. Como co-autor está João Figueiras (Lelé), responsável pelo desenvolvimento dos componentes construtivos pré-moldados em concreto armado.



Figura 11 – ICC

Fonte: <http://www.ebc.com.br>



Figura 12 – ICC

Fonte: VILELA JUNIOR (2011)

Em 1966, foi criado no Brasil o BNH – Banco Nacional da Habitação, para tentar reparar o déficit habitacional do país, gerado pelo contínuo aumento da população nos grandes centros urbanos. No início, o banco desestimulou a pré-fabricação no setor da habitação, com intuito de privilegiar a geração de empregos. Na segunda metade dos anos 70, o banco adotou novas diretrizes para o setor, reorientando sua atuação para o atendimento das camadas de menor poder aquisitivo, passando a estimular (ainda que timidamente) a introdução de novas tecnologias, como a construção com elementos pré-fabricados de concreto (OLIVEIRA, 2002).

Orientado para a busca de alternativas tecnológicas para a construção habitacional, o BNH e seus agentes patrocinaram a pesquisa e desenvolvimento de alguns processos construtivos à base de componentes pré-fabricados. Foram organizados canteiros experimentais, como Narendiba, Bahia, 1978; Carapicuíba VII, 1980 e Jardim São Paulo, 1981, ambos em São Paulo. Porém, a utilização de materiais inadequados nos componentes pré-fabricados e devido à falhas de execução, esses edifícios apresentaram muitos problemas patológicos,

levando até mesmo à demolição de alguns deles, como foi o caso do Carapicuíva VII (ZENHA apud OLIVEIRA 2002).

De volta ao exterior, o “boom” de prédios de escritórios nos anos 80 levou os arquitetos a reexaminarem o potencial dos painéis de concreto pré-moldado e, como muitos dos novos edifícios foram construídos em locais históricos de Londres, os painéis precisaram ter a aparência de pedra (DAWSON (2003)). O material usado foi um pré-fabricado produzido com misturas que dão aparência idêntica às pedras naturais, como a pedra de Portland e Pedra Banho.

Logo se percebeu que um material de alta resistência com aparência atrativa, não era apenas adequado para painéis de revestimento, mas poderia também ser utilizado como elemento estrutural em uma construção. Michael Hopkins & Partners usaram elementos estruturais pré-moldados com acabamentos expostos em Bracken House, Londres, 1992 (Figura 13), Glyndebourne Opera House, Sussex, 1994 (Figura 14) e nos escritórios Inland Revenue, Nottingham, 1996 (Figura 15).



Figura 13 – Bracken House, Londres

Fonte: <http://www.mimoa.eu>



Figura 14 – Glyndebourne Opera House, Sussex

Fonte: <http://www.eastbourneguide.com>





Figura 15 - Inland Revenue, Nottingham

Fonte: <http://www.architecture.com>

Segundo FIGUEROLA (2008), com o concreto mais resistente, surgiram no mercado o concreto reforçado com fibras e os concretos de alta resistência, que permitiram a produção de painéis pré-fabricados resistentes e mais esbeltos, a partir da década de 70. Hoje, a tecnologia evoluiu mais ainda e, na Europa, arranha-céus são inteiramente construídos com sistemas pré-fabricados de concreto.

Produzidos industrialmente, com formas metálicas e concreto auto-adensável de 90 MPa, pilares, vigas e painéis têm sido usados para construir torres residenciais e comerciais de até 40 andares, como o The Strijkijzer, finalizado em 2007 em Haia, na Holanda, ilustrado na Figura 16. A Bélgica é outro país onde o sistema também é bastante difundido.



Figura 16 - The Strijkijzer, Haia – Holanda

Fonte: [www.studenthousing.leiden.edu](http://www.studenthousing.leiden.edu)

Segundo a Associação Brasileira de Construção Industrializada – ABCI (1980) apud OLIVEIRA (2002), não houve no Brasil uma política de desenvolvimento tecnológico para o setor da construção industrializada. Assim, o que restou, até o início da década de noventa, se deve ao arrojo dos empresários interessados no avanço da industrialização, que buscavam redução de custos e maior agilidade no processo de execução. Por isso, até hoje, a utilização de processos construtivos pré-fabricados, tanto de elementos estruturais como de painéis de fechamento, é mais expressivo nas construções industriais, comerciais e em empreendimentos hoteleiros.

### **3.2 Vantagens e Desvantagens**

De acordo com VAN ACKER (2002), a forma mais efetiva de industrializar o setor da construção civil é transferir o trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas. A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas e controle de qualidade entre outras vantagens.

A pré-fabricação de alto nível emprega equipamentos controlados por computador para o preparo do concreto, bem como para o corte e dobra automático das armaduras. A Figura 17, por exemplo, ilustra uma central de dosagem de concreto presente na ROTESMA Pré-Fabricados, situada em Chapecó-SC.



Figura 17 – Central de produção de concreto auto-adensável

Na referida central, os materiais (agregados graúdos, agregados miúdos, cimento, água e aditivos) são dosados de maneira computadorizada, seguindo-se com precisão o traço especificado. A utilização desse processo possibilita a obtenção de concretos auto adensáveis com resistência característica à compressão superior a 40 MPa, sem a necessidade de vibração, com grande qualidade de acabamento e reduzido desvio padrão. A Figura 18 ilustra o processo de moldagem de um painel de fechamento pré-moldado.



1 – Concretagem da face inferior de placa térmica aliviada, utilizando concreto auto-adensável, sem vibração;  
 2 – Posicionamento das malhas de armação e dos blocos de alívio em EPS;  
 3 – Placa de fechamento pré-moldada acabada e estocada em canteiro.

Figura 18 – Processo de fabricação de painéis para vedações

As armaduras utilizadas também podem passar por um processo de automação, através da utilização de equipamentos específicos de corte, dobra e soldagem, como ilustra a Figura 19. Esse processo se dá através do uso de um monitor de controle, o qual recebe as especificações da geometria da armação a ser cortada e dobrada. Uma vez selecionada a geometria, as peças são produzidas em um equipamento que necessita da operação de um único operário. Após o corte e dobra das armaduras, as mesmas são armazenadas e liberadas para que os procedimentos de montagem possam ocorrer em bancadas específicas. Dessa maneira as armações de vigas e pilares, por exemplo, podem ser encaminhadas para as formas onde serão concretadas. Essas operações além de facilitar o trabalho, trazem maior segurança e garantem maior precisão nos padrões de armação.



- 1 – Monitor de controle;
- 2 – Máquinário para dobra e corte da armação;
- 3 – Estribos dobrados e cortados;
- 4 – Bancadas de montagem das armaduras;
- 5 – Armação de vigas finalizadas.

Figura 19 – Processo de montagem automatizado de armação para vigas e pilares

O concreto pré-moldado oferece recursos consideráveis para melhorar a eficiência estrutural. Grandes vãos e redução da altura efetiva podem ser obtidas usando concreto protendido para elementos de vigas e de lajes. A Figura 20 ilustra uma pista de protensão de vigas tesoura utilizadas na cobertura de galpões industriais.



ELEVAÇÃO LATERAL DIREITA  
 Figura 20 – Processo de moldagem e utilização de viga tesoura protendida

Para construções industriais e comerciais, os vãos dos pisos podem chegar a 40 m ou mais. Para estacionamentos, o concreto pré-fabricado permite que mais carros sejam colocados nas distâncias disponíveis entre pilares. Isso oferece não apenas flexibilidade na construção, como também maior vida útil da edificação, pois há maior adaptabilidade e maior durabilidade dos materiais utilizados.

Certos tipos de construções devem ser adaptáveis para satisfazer as necessidades dos usuários. Escritórios, por exemplo, normalmente necessitam de grande espaço interno sem nenhuma restrição, de maneira que a instalação de divisórias possa ser feita com maior flexibilidade. A utilização de lajes alveolares com altura reduzida tem possibilitado a utilização de vãos cada vez maiores com sobrecargas intensas. A Figura 21 ilustra uma pista de protensão para a produção de lajes alveolares.



1 – Pista de protensão de lajes alveolares;  
 2 – Serra especial para o corte das lajes;  
 3 – Lajes alveolares finalizadas e estocadas.

Figura 21 – Processo de fabricação de lajes alveolares

Todo o processo tecnológico apresentado empregado na fabricação de peças pré-moldadas, além de todas as vantagens já mencionadas, também se apresenta como uma alternativa sustentável. Isso se dá pelo fato de reduzir o uso de materiais em até 45%; o consumo de energia em até 30%; o desperdício com demolição em até 40%; além de possibilitar a reciclagem do desperdício do concreto (VAN ACKER, 2002).

Complementando todos os benefícios já citados, DAWSON (2003) considera ainda que, pelo fato de a pré-fabricação se dar em ambiente controlado, sua qualidade não é afetada por condições climáticas nem pela escassez de mão-de-obra. Sua utilização permite uma rigorosa seleção e inspeção antes da instalação, eliminando as causas de atraso na construção. Ainda de acordo com o pesquisador, as seguintes vantagens são observadas:

- Instalação no local por equipes qualificadas, sem a necessidade de instalação de andaimes;
- O concreto pré-moldado apresenta menor porosidade, o que permite excelente isolamento acústico e resistência ao fogo;

- Fixações para vidros e isolamento térmico (insertos) podem ser incorporadas nas peças ainda na fábrica, antes da entrega ao local;
- Durabilidade de longo prazo, já que o concreto tem vida útil de aproximadamente 60 anos.

De acordo com DELLA BELLA (1999), a utilização do concreto pré-moldado resulta nas seguintes vantagens:

- Reutilização de formas;
- Otimização da forma das peças com o objetivo de redução de volume (vigas de pontes, por exemplo);
- Redução ou eliminação do cimbramento;
- Produção industrializada com melhores condições de controle de qualidade;
- Rapidez de construção (Montagem);
- Canteiro de obra reduzido;
- Uso extensivo de concretos de melhor qualidade (resistência e homogeneidade);
- Uso extensivo de protensão

Finalizando, segundo ELLIOT (2002), a chave para o sucesso da utilização do concreto pré-moldado é a capacidade de oferecer uma solução exequível, rentável e rápida, conforme as características a seguir:

- A sequência da construção é prática, possibilitando que outros serviços a serem executados se alinhem perfeitamente dentro de um cronograma;
- A construção é segura e a estabilidade temporária é garantida;
- Guindastes de baixo-custo podem ser utilizados;
- O trabalho é qualificado;
- O custo de cada elemento estrutural em concreto pré-moldado é competitivo com o de outros materiais;
- Os custos de construção em geral, inclusive de transportes, acabamento superficial da peça, manutenção e reparação são competitivos;
- A qualidade da produção é garantida - menor desvio padrão na produção de todos os elementos, materiais e métodos;
- Embora o período de fabricação dos elementos possa levar várias semanas, quando iniciada, a construção se dá rapidamente;
- Otimização das atividades subsequentes (pedreiros, eletricitas, marceneiros trabalham mais rapidamente);



- A entrega de alguns ambientes pode ser antecipada para os proprietários, enquanto executa-se o restante da obra;
- As rotas de serviço não são interrompidas;
- Tamanho de vigas e pilares já satisfeitos, assim como as posições de contraventamento;
- Concreto decorativo, tanto interna quanto externamente pode ser explorado, evitando a fase de acabamentos em obra.

Apesar de todas as vantagens e benefícios alcançados pelo uso do concreto pré-moldado, alguns fatores tornam essa técnica subutilizada no Brasil. Um dos fatores, de natureza macroeconômica, é o sistema tributário do país, além da instabilidade econômica, que dificulta planejamento e investimentos em longo prazo. (EL DEBS, 2000).

ALBUQUERQUE & EL DEBS (2005), concluíram que as maiores dificuldades para expansão do setor de obras pré-moldadas está atrelado ao pouco conhecimento do sistema, suas possibilidades e benefícios. Observa-se que muitas vezes os projetos são desenvolvidos sem prever a utilização do pré-moldado, tanto por parte dos arquitetos bem como por parte daqueles que elaboram os projetos complementares sem prever as necessidades solicitadas pelo sistema.

Segundo os mesmos pesquisadores, o mercado permanece muitas vezes inerte, e não abandona as soluções convencionais, sem contar que a mão de obra para estruturas moldadas in loco apresentam um custo mais baixo.

O transporte também pode ser um fator limitador para adoção do sistema em questão, pois pode aumentar significativamente o custo da obra, caso a fábrica esteja muito distante do seu destino final. Nesse caso, além dos custos com transporte incidem também tributos como ICMS e IPI.

De acordo com DELLA BELLA (1999), a utilização do concreto pré-moldado resulta nas seguintes desvantagens:

- a) Exigem mão de obra especializada tanto na fabricação como na montagem.
- b) Exigem grande integração entre os profissionais de Arquitetura, sistemas auxiliares elétricos, hidráulicos e mecânicos; estrutura; Gerente de Fabricação e Gerente de Montagem.
- c) Exigem especial atenção do engenheiro estrutural com relação aos aspectos de: Estabilidade global das estruturas sob a ação de cargas verticais e horizontais; Detalhes de ligação dos elementos; Esforços durante a desforma, estocagem, transporte e montagem dos elementos e Adequação das peças à disponibilidade dos equipamentos de fabricação, transporte e lançamento das mesmas;

### **3.3 Sistemas Estruturais**

A concepção estrutural preliminar, em que muitas pessoas se referem como o estágio de viabilidade, é mais frequentemente um reconhecimento do tipo de moldura estrutural, o que é mais adequado para a forma e função de um edifício, do que o projeto estrutural propriamente dito (ELLIOT, 2002).

Para avaliar as soluções estruturais mais adotadas no país para edifícios pré-moldados, ALBUQUERQUE & EL DEBS (2005) conseguiram informações sobre diversas obras pré-moldadas em todo o país, a partir do cadastro de várias edificações enviadas por fabricantes, projetistas e pela ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto). São obras de vários tipos de edificações de múltiplos pavimentos, tais como: shopping centers, edifícios comerciais, edifícios residenciais, escolas, faculdades, igrejas, estacionamentos, entre outros.

Esta pesquisa trouxe, entre outros dados, informações sobre a resistência do concreto utilizado nas obras de todo o país. Ficou constatado que a resistência do concreto pré-

moldado varia de 30 a 50 MPa (Gráfico 1) e a resistência do concreto moldado no local varia de 20 a 30 MPa (Gráfico 2)

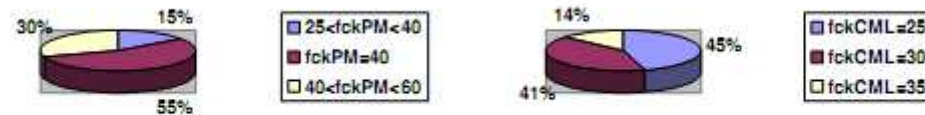


Gráfico 1-Resistência concreto pré-moldado (MPa) Gráfico 2-Resistência concreto moldado *in loco* (MPa)

(Fonte: ALBUQUERQUE & EL DEBS, 2005)

De acordo com os pesquisadores já mencionados, todas as obras cadastradas foram concebidas como pórticos unidirecionais, onde as vigas eram dispostas numa direção e as lajes dispostas perpendicularmente, apoiadas nas vigas. A partir do banco de dados obteve-se que 54,5% dos pórticos foram orientados na mesma direção do lado de maior dimensão do pavimento e 45,5% na direção do lado de menor dimensão do pavimento.

Quanto ao sistema estrutural, ALBUQUERQUE & EL DEBS (2005) observaram que as lajes mais utilizadas são as lajes alveolares e as lajes duplo T (pi) e estão sempre apoiadas em vigas de seção: "T" invertida, "L", "I" e retangular. Pode-se afirmar que o sistema estrutural mais utilizado no Brasil é composto por lajes alveolares apoiadas em vigas "T" invertidas, no interior do pavimento, e em vigas "L" na periferia. Esta conclusão também pode ser confirmada através do banco de obras da ABCIC que indica a presença do sistema lajes alveolares apoiadas em vigas "T" invertidas e vigas "L" em 51,6% das obras.

Quase a totalidade das obras cadastradas se encaixa na classificação U.S Conventional System, sistema norte-americano composto por vigas "T" invertidas e vigas "L" na periferia, com pilares de vários andares e lajes alveolares ou lajes duplo T (pi) (Figura 22). O sistema usa concreto moldado *in loco*, apenas como capeamento das lajes.

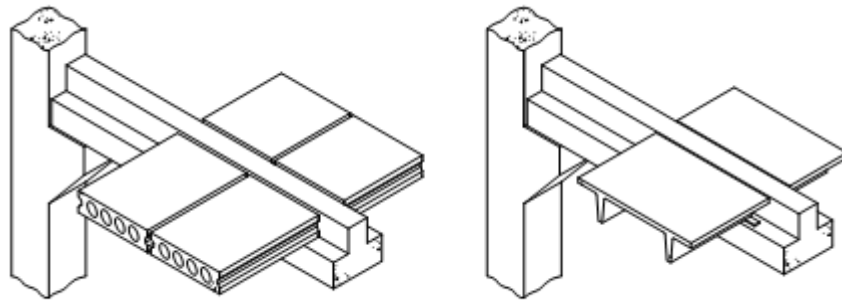


Figura 22 - U.S Conventional System

(Fonte: EL DEBS, 2000)

Através de todas as informações adquiridas por ALBUQUERQUE & EL DEBS (2005), os mesmos constataram o registro de apenas um sistema estrutural patenteado, idealizado por Aluizio A. M. D'Ávila Projetos Estruturais, registrado no CONFEA sob o n<sup>o</sup>. 826. O sistema é composto de lajes, vigas e pilares pré-moldados com solidarização posterior. O sistema permite que as lajes sejam montadas sobre as vigas, ambas na condição de isostáticas. Posteriormente são introduzidas as armações negativas na parte superior das vigas e lajes e feita a concretagem complementar. Dessa maneira, o sistema funciona igual a um sistema moldado in loco (Figura 23).

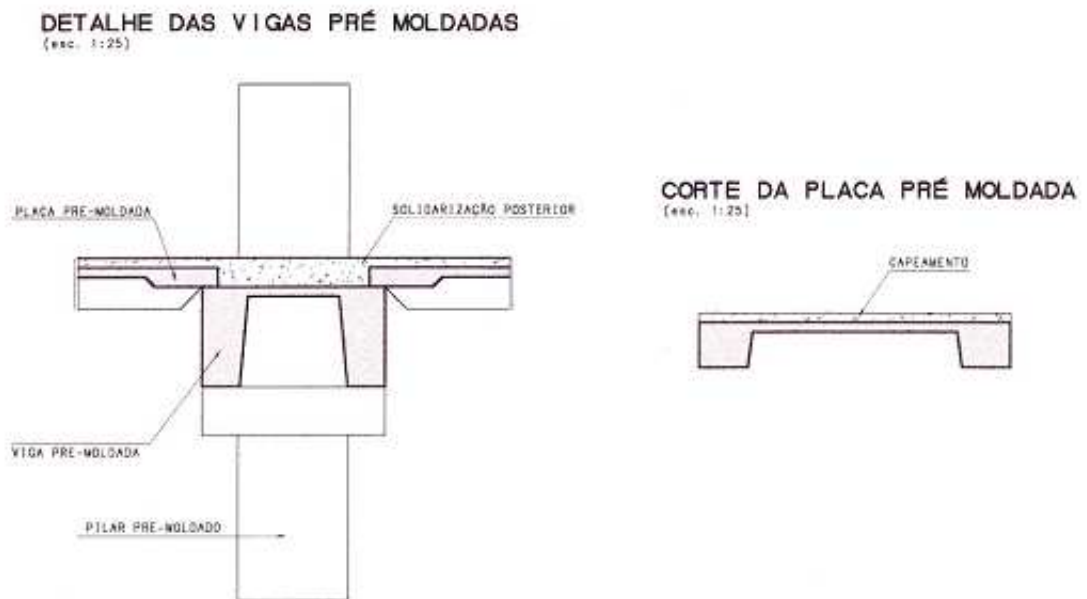


Figura 23 – Sistema Aluizio A.M. D'ávila

(Fonte: ALBUQUERQUE & EL DEBS, 2005)

Finalmente, a partir do banco de obras da ABCIC e do banco de obras da pesquisa de ALBUQUERQUE & EL DEBS (2005), também concluiu-se que a grande maioria das edificações adota um modelo hiperestático, através de solidarizações posteriores.

Conhecendo-se a realidade dos sistemas estruturais para obras pré-moldadas e pré-fabricadas utilizadas no país, serão apresentados a seguir os sistemas estruturais mais usuais.

### 3.3.1 Sistema Esqueleto

A criação de um grande "plano aberto" dá maiores possibilidades para a utilização de ambientes, podendo-se erguer divisórias internas para atender às necessidades de qualquer cliente. Essa flexibilidade exige claramente uma estrutura constituída de vigas, pilares e lajes muitas vezes referida como "esqueleto", conforme ilustra a Figura 24 (ELLIOT, 2002).

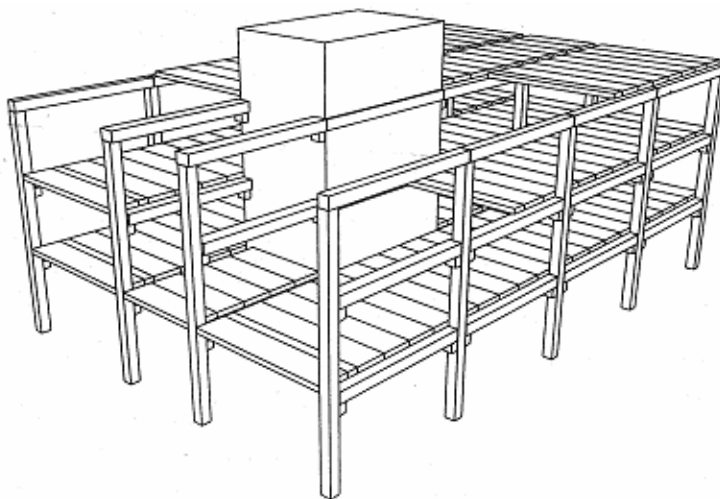


Figura 24 – Sistema de uma estrutura esqueleto

(Fonte: VAN ACKER, 2002)

De acordo com VAN ACKER (2002), estruturas em esqueleto são apropriadas para construções que precisam de alta flexibilidade. Isto induz ao uso de grandes vãos, de maneira a alcançar espaços abertos sem a interferência de paredes. Essa característica é

muito importante para construções industriais, shopping centers, estacionamentos, centros esportivos e, também, para construções de grandes escritórios.

O conceito de esqueleto também possibilita uma grande liberdade para o arquiteto na escolha do sistema de fechamento. Os elementos estruturais são bem adaptáveis para uma produção racional e processos de montagem (VAN ACKER, 2002)

### 3.3.2 Sistema Aporticado

Segundo ELLIOT (2002) um outro sistema estrutural para edifícios pré-moldados é o "pórtico", ou "sistema aporticado", usado para edifícios industriais e armazéns, como ilustra a Figura 25, onde são necessários vãos livres de 25 m a 40m, ou uso de vigas protendidas.

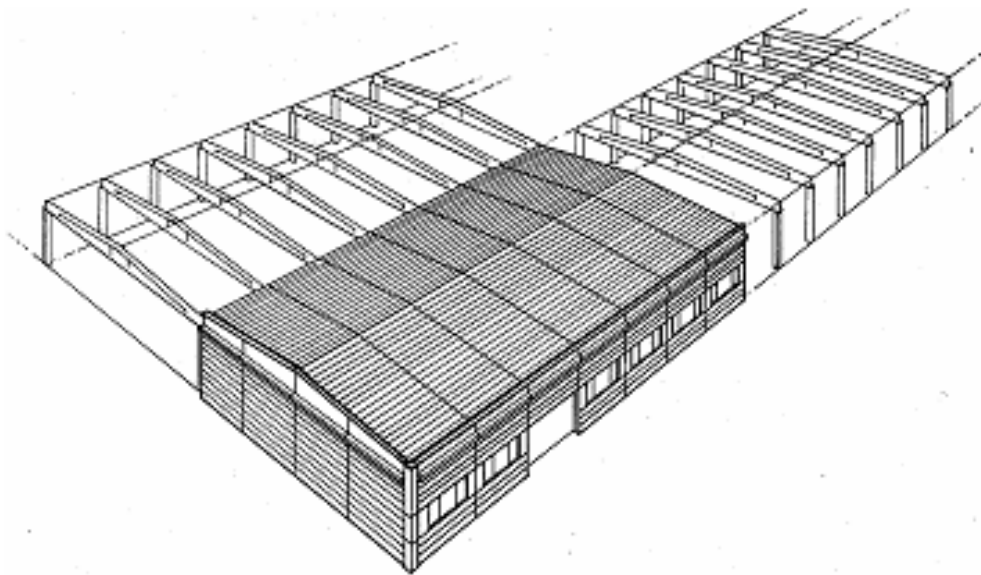


Figura 25 – Sistema de uma estrutura aporticada

(Fonte: VAN ACKER, 2002)

No Brasil, tem sido frequente a utilização de vigas tesoura para vencer grandes vãos. Trata-se de um sistema bastante leve capaz de chegar a vãos de até 25 m, com espaçamentos entre pórticos em torno de 7,0 m. A Figura 26 ilustra a aplicação de vigas tesoura no sistema aporticado.



Figura 26 – Vigas tesoura utilizadas em sistema aporticado

(<http://www.ritesma.com.br>)

### 3.3.3 Sistema Parede Portante e de Fechamento

Os painéis pré-fabricados podem ser portantes ou de fechamento, apresentando superfície lisa tanto interna quanto externamente, pronta para receber pintura ou papel de parede. Segundo EL DEBS (2000), a principal característica no sistema com **paredes portantes** é que as paredes, além de prover o fechamento, servem também de apoio para a cobertura.

De acordo com VAN ACKER (2002) os sistemas de painéis pré-fabricados são muito utilizados em construções residenciais, tanto para casas quanto para apartamentos. Essa solução pode ser considerada como uma forma industrializada de paredes moldadas no local, tijolos convencionais ou paredes de alvenaria.

Os sistemas de fechamento pré-fabricados oferecem as vantagens de rapidez na construção, de acabamento liso, de isolamento acústico e de resistência ao fogo. Este sistema faz parte das chamadas técnicas de construções abertas, já que há uma tendência em construir espaços abertos livres entre as paredes portantes e usar divisórias leves para definir o layout interno. Com essa técnica é possível mudar o projeto futuramente, sem maiores custos (VAN ACKER, 2002).

EL DEBS (2000), ressalta também que a aplicação desse tipo estrutural resulta em um melhor aproveitamento dos materiais, pois, em princípio, o fechamento com painéis pré-moldados em sistemas de esqueleto apresenta grande capacidade de suporte que não é utilizada. Em contrapartida, a ampliação da construção pode apresentar dificuldades. A Figura 27 ilustra um exemplo de estrutura de painéis combinada com estrutura em esqueleto.

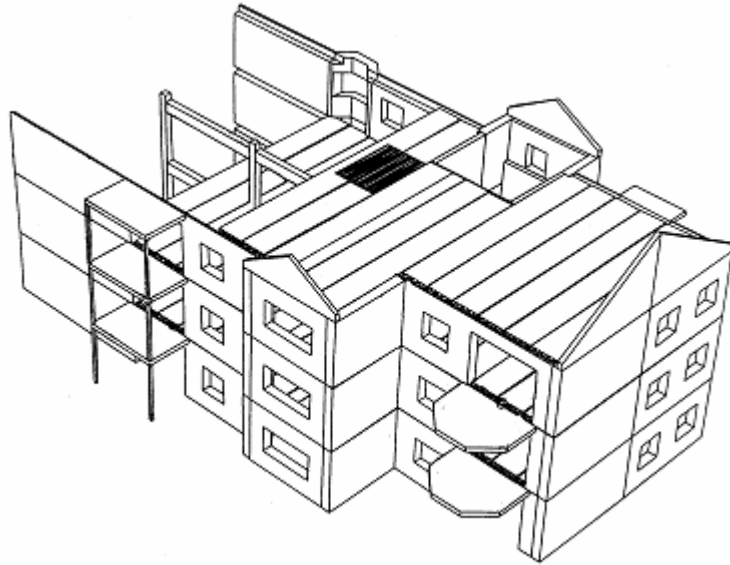


Figura 27 – Exemplo de estrutura de painéis combinada com estrutura em esqueleto

(Fonte: VAN ACKER, 2002)

### 3.3.4 Sistema Celular

Segundo EL DEBS (2002), o sistema com elementos tridimensionais, também denominado de sistemas com células tridimensionais ou elementos volumétricos (Figura 28), corresponde ao emprego de elementos dispostos em dois ou mais planos, de forma que o elemento compreende partes da parede e partes da laje ou somente partes da parede, mas em dois planos (Figura 29).



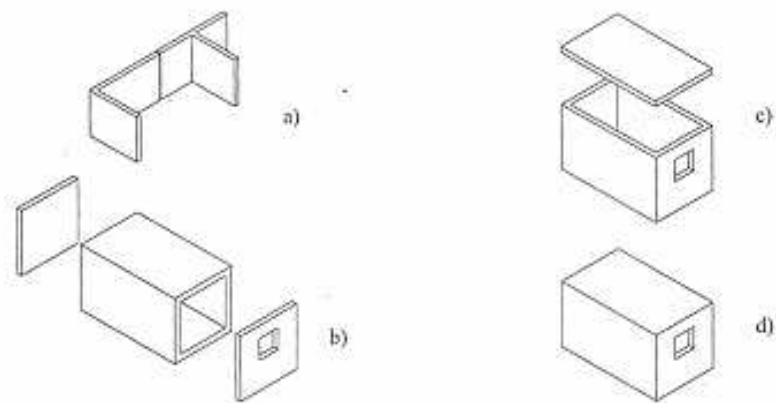


Figura 28 – Exemplos de elementos tridimensionais

(Fonte: EL DEBS, 2000)

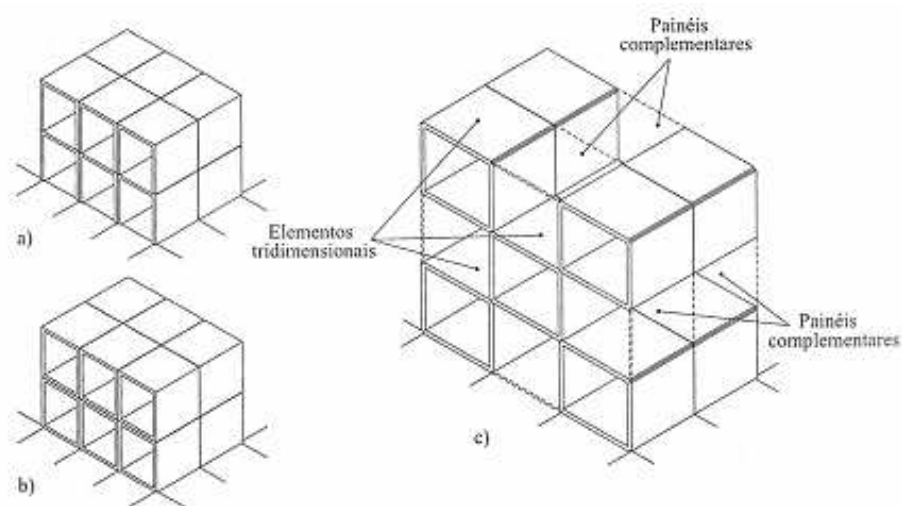


Figura 29 – Esquemas construtivos com elementos tridimensionais

(Fonte: EL DEBS, 2000)

Esses elementos podem ser monolíticos, quando se moldam todas as faces em uma única etapa ou em etapas próximas, ou por ligação de dois ou mais elementos que são unidos normalmente na própria fábrica. O autor lembra ainda que os elementos tridimensionais de concreto apresentam elevado peso e seu acabamento acontece na fase de execução.

As unidades celulares são algumas vezes utilizadas para algumas partes das construções, como por exemplo para os banheiros, cozinhas, garagens, etc. Esse sistema é vantajoso pois é rápido, a fabricação é industrializada até o término, e os equipamentos celulares podem ser montados completamente na fábrica. Entretanto, estes sistemas apresentam maiores dificuldades para transporte e menor flexibilidade arquitetônica (VAN ACKER, 2002).

## **4. PROJETO**

Apesar de o Sistema Pré-Moldado não se tratar de uma tecnologia incipiente, o seu conhecimento, principalmente entre os arquitetos, ainda é pouco difundido. Por esta razão, temos poucos exemplares de obras residenciais e comerciais, quando comparado ao sistema tradicional, tendo sido mais aplicado em galpões, armazéns e obras de grande porte.

Devido ao baixo domínio da técnica pelos arquitetos, os projetos não tem contemplado o apelo estético que o sistema em questão pode oferecer. Sendo assim, neste capítulo serão abordadas algumas diretrizes projetuais, para melhores resultados na interface arquitetura-estrutura.

### **4.1 Diretrizes para o Projeto Arquitetônico**

Mesmo “layouts” irregulares de pavimentos podem vir a ser apropriados para pré-fabricação em várias ocasiões, se não totalmente ao menos parcialmente. É completamente errôneo pensar que o concreto pré-moldado não possui flexibilidade arquitetônica. Construções modernas de concreto pré-moldado podem ser projetadas de forma segura e econômica, com uma variedade de planos e com variações consideráveis em relação ao tratamento das elevações, para edifícios com vinte andares ou mais (VAN ACKER(2002)).

De acordo com EL DEBS (2000) os seguintes princípios devem ser seguidos quando se há intenção em utilizar o concreto pré-moldado:

- a) Conceber o projeto da obra visando a utilização do concreto pré-moldado:

A construção deve ser projetada, desde a sua fase inicial, já prevendo a utilização da pré-moldagem. Devem-se levar em consideração as características favoráveis e desfavoráveis das etapas de produção: a execução dos elementos, o transporte, a montagem e a realização das ligações;

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

Observar as outras partes que formam a construção, tais como: instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, de águas pluviais, ar condicionado, etc. A pré-moldagem não combina com improvisações.

c) Minimizar o número de ligações:

As ligações se constituem em uma das principais dificuldades do concreto pré-moldado e este princípio aponta para a redução da divisão da estrutura em elementos. Evidentemente, este princípio está vinculado às limitações de transporte e equipamentos de montagem.

d) Minimizar o número de tipos de elementos:

Princípio relacionado à padronização da produção. Deve-se ter em mente uma produção seriada, e com a possibilidade de uso das mesmas fôrmas para elementos de tamanhos diferentes. Moldar elementos que desempenham mais de uma função. Exemplos: painéis alveolares, de seção duplo T ( $\pi$ ) e de seção U que podem ser utilizados tanto em lajes quanto em paredes.

e) Utilizar elementos de mesma faixa de peso:

Princípio relacionado à racionalização da montagem dos elementos. Elementos com diferentes faixas de peso obrigam o dimensionamento do equipamento para o elemento mais pesado, aproveitando-o mal para os elementos leves.

f) Utilizar os benefícios das estruturas híbridas:

A combinação do concreto pré-moldado com materiais como o aço e a madeira podem ser muito interessantes. Galpões com pilares pré-moldados e cobertura metálica/madeira são uma solução muito utilizada no mercado. Adicionalmente, a combinação do concreto pré-

moldado com a arte da protensão pode trazer soluções muito eficazes para algumas peças tais como estacas, vigas de viaduto e pilares de grandes alturas.

g) Utilização de balanços:

A utilização de balanços no concreto pré-moldado pode introduzir certas dificuldades construtivas. Dessa maneira, sempre que possível, é melhor evitar a utilização de balanços no pré-moldado.

h) Desmontabilidade da estrutura:

Deve-se sempre considerar a possibilidade de demolição ou reforma da estrutura, após um certo tempo de utilização. As estruturas em concreto pré-moldado possibilitam facilmente a desmontagem e a reutilização das peças em novas construções, desde que antecipadamente consideradas nos projetos.

i) Coordenação modular:

Deve-se sempre levar em consideração o relacionamento entre as dimensões dos elementos pré-moldados e a dimensão das construções por meio de uma dimensão básica. Em geral, valores múltiplos de 2,5 m , 3,0 m e 4,0 m têm sido utilizados com frequência no mercado.

VAN ACKER (2002), afirma a importância em compreender que é possível se obter um melhor projeto para a estrutura pré-moldada, se a estrutura for concebida com a pré-moldagem desde o projeto preliminar e não meramente adaptada de um método tradicional de concreto moldado no local. As maiores vantagens em soluções pré-moldadas serão obtidas quando no estágio da concepção do projeto forem considerados os seguintes pontos:

j) Respeito à filosofia específica de projeto:

O uso de pré-moldados pede a utilização de um sistema de contraventamento próprio, grandes vãos e garantia da integridade estrutural;

k) Usar soluções padronizadas sempre que possível:

A padronização é um fator importante no processo de fabricação. Isso possibilita repetição e experiência portanto, custos mais baixos, melhor qualidade e confiabilidade, assim como uma execução mais rápida;

l) Os detalhes devem ser simples:

Um bom projeto em concreto pré-moldado deve envolver detalhes o mais simples possível. Devem ser evitados detalhes muito complicados ou vulneráveis;

m) Considerar as tolerâncias dimensionais:

Produtos de concreto pré-moldados apresentam inevitavelmente diferenças entre as dimensões especificadas e as executadas. Essas variações devem ser admitidas e previstas no projeto desde o início.

n) Obter vantagem do processo de industrialização

A produção de concreto pré-moldado deve se basear na industrialização. Isso é parcialmente influenciado pelo projeto.

### 4.1.1 Modulação

De acordo com VAN ACKER (2002), a modulação é um fator muito importante no projeto e construção de edifícios, tanto para o trabalho estrutural como para o acabamento. Em pré-fabricação, isso é ainda mais marcante, especialmente em relação à padronização e economia na produção e execução. A modulação é geralmente bem estabelecida para componentes estruturais em construções pré-moldadas. Geralmente, o módulo básico é 3 m sendo que 12 m é uma medida muito usada. Os pilares internos são posicionados no centro do eixo modular. Os pilares de canto podem ser posicionados com a grade de eixo paralela à direção da face do pilar, mas essa solução é menos recomendada que a anterior. Na primeira solução, todas as vigas são do mesmo comprimento e a folga deixada no canto do elemento de piso pode ser facilmente preenchida com concreto moldado no local ou com placas de fechamento.

O comprimento dos elementos do piso é a princípio completamente livre. A modulação é certamente recomendada, mas terá pouco impacto no custo dos assoalhos. Contudo, possivelmente terá consequências na modulação das unidades da fachada. Núcleos centrais e poços de elevadores são posicionados de tal maneira que a modulação axial na direção do vão do piso coincida com a parte externa do núcleo. Na outra direção, a implantação deve, preferivelmente, ser semelhante a todos os elementos do assoalho do compartimento que têm o mesmo comprimento.

Para elementos da fachada, o ponto de vista é bem diferente. Sem dúvida, a modulação é desejável, mas não deve constituir um obstáculo para o conceito da arquitetura do edifício. Cada projeto é desenhado individualmente e, sempre, novos moldes têm que ser feitos. A modulação em conexão com a produção industrial não é obrigatória, mas certamente influencia no custo dos elementos. A modulação deve ser considerada como uma ajuda, não como uma obrigação (VAN ACKER, 2002).

### 4.1.2 Padronização

As indústrias são tecnicamente capazes de produzir peças pré-fabricadas de concreto em uma grande variedade de formas - inclusive as curvas. Mas o que torna seu uso financeiramente viável em uma obra é o fator repetição, ou seja, a quantidade de elementos empregados no edifício deve justificar o investimento (SAYEGH, 2011).

Segundo VAN ACKER (2002), a padronização de produtos e processos é amplamente difundida na pré-fabricação. Fabricantes de pré-moldados têm padronizado seus componentes adotando uma variação de sessões transversais apropriadas para cada tipo de componente. Geralmente, a padronização se limita a detalhes, dimensões e geometria das seções transversais, mas raramente ao comprimento das unidades. Produtos típicos padronizados são: pilares, vigas e lajes de piso.

Produtos padronizados são produzidos em formas pré-estabelecidas. O projetista pode selecionar o comprimento, dimensões e capacidade de carga dentro de certos limites. Essa informação pode ser encontrada em catálogos dos fabricantes.

Geralmente, os elementos de painéis têm espessura padronizada, mas a altura e largura são livres dentro de certos limites, é claro. As aberturas para as janelas e portas são, normalmente, livres. As fachadas são geralmente projetadas individualmente para cada projeto. Algumas vezes, os painéis de fechamento para edifícios de uso geral são disponíveis nas dimensões padronizadas (VAN ACKER, 2002).

A pré-fabricação também pode ser aplicada para componentes não padronizados. Além dos elementos da fachada já mencionados, elementos em concreto arquitetônico, a indústria de pré-moldados também está produzindo componentes para outras finalidades, por exemplo: escadas, rampas; sacadas; elementos de formato especiais, etc (VAN ACKER, 2002).

A padronização constitui-se também num fator econômico importante no processo de pré-fabricação, por causa dos baixos custos das formas, industrialização do processo de produção com alta produtividade, larga experiência em execução, etc. A padronização tem também, um impacto benéfico em uma série de componentes idênticos, resultando em uma grande redução de trabalho por unidade produzida. Mas, os produtos não padronizados também têm papel importante no custo da produção.

VAN ACKER (2002) lembra também que fabricantes de pré-fabricados têm desenvolvido manuais com rotinas de projeto que auxiliam os projetistas a elaborar e organizarem os projetos. A padronização de sistemas construtivos, componentes, ligações, etc., não significa apenas a industrialização da produção de componentes, mas a repetição de tarefas também significa evitar erros e experiências negativas.

#### **4.1.3 Interação com Outros Sistemas**

De acordo com EL DEBS (2000), o uso de pré-moldados implica na previsão das interações com outras partes que formam a construção, como as instalações (hidráulica, sanitária, elétrica, de águas pluviais, ar condicionado, etc.), as esquadrias ou outros elementos, como a impermeabilização e o isolamento térmico, já que improvisações não são compatíveis com a pré-moldagem.

As instalações podem ser parcialmente integradas nas unidades pré-moldadas. Por exemplos dutos, caixas ou aberturas para adaptação elétrica podem ser moldadas nos elementos de painéis. Outro exemplo são os tubos de água pluvial que são moldados dentro das colunas ou nos elementos de fachada. Grandes conduítes pré-fabricados para ventilação e outras tubulações podem ser instaladas dentro dos forros duplos ou ao longo de elementos em arco para fachada durante a montagem das unidades pré-moldadas (VAN ACKER, 2002).

Segundo VAN ACKER (2002), existem certas vantagens e também alguns problemas específicos. A maior vantagem é que a estrutura pré-moldada pode ser projetada de acordo com as necessidades específicas dos equipamentos de montagem. Os elementos podem ser fornecidos com uma variedade de nichos, as fixações podem ser moldadas nos componentes, e outras formas adicionais ainda estão disponíveis no canteiro depois da montagem da construção pré-moldada.

Ainda de acordo com o autor citado, no caso da pré-moldagem todos os componentes e subsistemas que devem ser moldados dentro dos elementos pré-moldados devem ser planejados em estágios anteriores. Ambos, os serviços de engenharia e arquitetura devem estar prontos para definir os requisitos de projeto a fim de que os fabricantes possam



preparar os seus projetos de produção. Daqui em diante, o estudo final das instalações precisam ser feitos antes do habitual, mas isso também pode ser visto como uma vantagem.

O processo de pré-moldagem também oferece certas vantagens em relação às técnicas de construção. Por exemplo: a massa térmica do concreto tem sido usada satisfatoriamente para armazenar energia térmica em pisos de laje alveolar, resultando em economia substancial em relação a equipamentos de aquecimento. Os alvéolos das placas de piso são utilizados para ventilação antes que o ar entre no ambiente (Figura 30). No inverno, o excesso de energia que vem das máquinas, da luz elétrica, da luz solar e dos usuários é estocada durante o dia e recuperada durante a noite. No verão, os pisos são resfriados durante a noite pelo ar de fora. Esse sistema permite uma economia de energia superior a 30 %. Esses alvéolos também podem ser utilizados para incorporar dutos e tubulações na parte interior dos pisos (VAN ACKER, 2002).

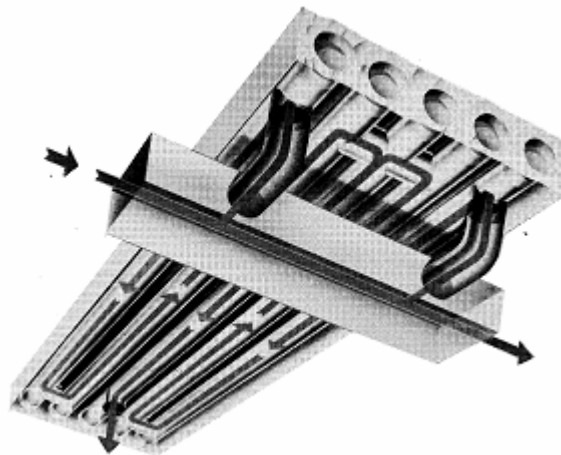


Figura 30 – Unidades de laje alveolar com labirinto interno para circulação de ar

(Fonte: VAN ACKER, 2002)

Para EL DEBS (2000), mais do que resolver estas interações, deve-se procurar tirar proveito da pré-moldagem para racionalizar os serviços correspondentes às outras partes da construção. Isso depende de cada tipo de construção. Por exemplo, no caso de galpões, a iluminação zenital, os caminhos de rolamentos ou ainda os condutos para águas pluviais podem estar integrados na estrutura.

## 4.2 Concepção Estrutural

De acordo com PINHEIRO (1999), a concepção estrutural deve levar em conta a finalidade da edificação e atender, tanto quanto possível, às condições impostas pela arquitetura. De fato, o projeto arquitetônico representa a base para a elaboração do projeto estrutural, o qual deve prever o posicionamento dos elementos de tal forma que respeite a distribuição dos diferentes ambientes nos diversos pavimentos.

No caso do concreto pré-moldado, a interação da arquitetura com o sistema estrutural é ainda mais intensa, uma vez que muitas vezes os elementos pré-moldados ficarão aparentes. Nesse caso, como a arquitetura é muitas vezes a própria estrutura, é necessário um conhecimento mais aprofundado do arquiteto em relação a estruturas, pelo menos do ponto de vista de concepção estrutural e de pré-dimensionamento dos elementos. Dessa maneira, o arquiteto pode aumentar significativamente a qualidade de seus projetos, fornecendo cortes mais realistas em relação a estrutura real a ser construída.

Observa-se na prática uma formação pouco aprofundada por parte dos arquitetos em relação a disciplinas relacionadas a estruturas. Essa falta de interesse resulta frequentemente em atrito com engenheiros, uma vez que um projeto idealizado por um arquiteto pode ser totalmente descaracterizado quando o lançamento estrutural para determinada edificação é efetuado. Conhecer melhor os sistemas estruturais e noções básicas de pré-dimensionamento certamente minimizam esses atritos e surpresas desagradáveis em relação às construções. Em se tratando do concreto pré-moldado, é inevitável que os arquitetos tenham mais intimidade com os elementos estruturais.

De acordo com REBELLO (2000) a estrutura sempre teve e terá influência decisiva na arquitetura. Além disso, a estrutura obedece as leis da natureza e não pode satisfazer sempre aos desejos do arquiteto. Sempre que possível, a estrutura se mantém escondida na arquitetura, mas isso nem é sempre possível ou desejável. Finalmente, a estrutura custa caro, cerca de 25% do custo das edificações e, por esse motivo, a escolha de um sistema adequado desde a fase de concepção arquitetônica pode vir a minimizar esse custo.

REBELLO (2000) vai ainda além e faz uma série de reflexões muito interessantes quanto à relação dos arquitetos com os fundamentos básicos do projeto estrutural:

- É quase um dogma o fato de quem concebe a estrutura é o engenheiro estrutural: isso é um grande engano;
- Uma coisa é conceber, a outra é dimensionar uma estrutura para que ela seja capaz de suportar as condições de trabalho que estará submetida;
- Conceber é compreender, entender e ser capaz de explicar. Conceber uma estrutura é ter consciência da possibilidade de sua execução e existência;
- Não há forma sem estrutura e nem estrutura sem forma. A estrutura e a forma são um só objeto;
- Forma e estrutura nascem juntas, ou seja, quem cria a forma, implicitamente está criando a estrutura. Porém, nem sempre o criador da arquitetura tem consciência de que no seu ato criador dos espaços está intrínseco o ato criador da estrutura;
- Quando o artista não cuida do ato gêmeo da concepção estrutural, corre o risco de ver seu projeto totalmente desfigurado.
- Alguns dizem que se uma estrutura é bem dimensionada a beleza estética da construção virá naturalmente (questionável);
- Na consideração da estética de uma construção, deve-se distinguir os casos em que a estrutura tem pouca importância e os casos em que a estrutura é essencial para a aparência.

Segundo PINHEIRO (1999), o sistema estrutural de um edifício deve ser projetado de modo que seja capaz de resistir às ações verticais e as ações horizontais que possam provocar efeitos significativos ao longo de sua vida útil.

Basicamente as ações verticais, que atuam nas lajes dos vários andares e, que são constituídas pelas ações permanentes diretas (peso próprio, paredes, revestimentos etc) e ações variáveis normais, podem ser transferidas diretamente aos pilares ou às vigas, que por sua vez, após receberem as ações permanentes das alvenarias – se houverem, as distribuem, por flexão, aos pilares e paredes estruturais. Os pilares e paredes estruturais têm a

finalidade de receber as ações das lajes ou vigas dos vários andares e distribuí-las às fundações.

As ações horizontais, onde não há ocorrência de abalos sísmicos, são as devidas ao vento. A NBR 6118/1982, em seu item 3.1.1.3, diz o seguinte: “Será exigida a consideração da ação do vento nas estruturas em que esta ação possa produzir efeitos estáticos ou dinâmicos importantes e obrigatoriamente no caso de estruturas com nós deslocáveis, nas quais a altura seja maior que 4 vezes a largura menor, ou em que, numa dada direção, o número de filas de pilares seja inferior a 4.” No entanto, a revisão da norma, que está sendo escrita, promete exigir a consideração do vento em qualquer situação. É óbvio que caberá ao engenheiro o bom senso, pois, em casas térreas, por exemplo, a ação do vento é desprezível.

O caminho das ações horizontais têm início nas paredes externas do edifício, onde atua o vento. Em seguida, por meio do efeito diafragma das lajes, estas ações são transmitidas aos elementos verticais de grande rigidez, tais como pórticos, paredes estruturais e núcleos, que formam a estrutura de contraventamento. Os pilares de pouca rigidez pouco contribuem na resistência às ações laterais e, portanto, podem ser ignorados na análise da estabilidade global da estrutura.

De maneira geral, o lançamento estrutural deve levar em consideração os seguintes fatores:

- O arranjo adequado deve considerar aspectos de segurança, economia (custo e durabilidade) e estética/funcionalidade;
- A transferência de cargas deve ser a mais direta possível, evitando apoios indiretos (vigas sobre vigas e pilares sobre vigas);
- As dimensões da estrutura devem ser limitadas a 30 m para minimizar efeitos de temperatura e retração. Pensar em estruturas independentes;
- Pilares devem ser lançados a cada 2,5 m a 7,0 m e devem ficar escondidos (atrás de portas, banheiros, etc);

- A inércia dos pilares devem ser distribuídas nas direções de atuação do vento, de maneira a se obter pórticos planos nas direções necessárias.

Uma vez posicionados os principais elementos estruturais (vigas, pilares e lajes), pode-se então partir para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais. Uma vez que o projeto arquitetônico já contemple o posicionamento e um pré-dimensionamento dos elementos, o engenheiro de estruturas vai procurar seguir ao máximo essa orientação disponibilizada pelo arquiteto. Uma vez acostumado com regras simples de pré-dimensionamento, o arquiteto verá pouca variação de sua concepção ao final do processo de dimensionamento dos elementos, verificando que as dimensões dos elementos por ele propostas terão variação de 5 a 10% para cima ou para baixo.

Dessa maneira, os itens a seguir procuram orientar o arquiteto na adoção de dimensões base dos principais elementos estruturais, de maneira que na concepção do projeto arquitetônico, os elementos estruturais já possam ser locados com dimensões próximas da realidade. Esse aspecto é muito importante para o detalhamento adequado dos cortes da edificação, para o aproveitamento da beleza estrutural de alguns elementos e para uma harmonia de trabalho com os outros profissionais envolvidos no processo.

### **4.3 Pré-Dimensionamento dos Elementos Estruturais**

#### **4.3.1 Pré-Dimensionamento de Vigas Pré-Moldadas**

De acordo com SOUZA (2008), a largura das vigas é em geral definida pelo projeto arquitetônico e pelos materiais e técnicas utilizados pela construtora. Desta forma, quando a viga ficar embutida em paredes de alvenaria, sua largura deve sempre que possível levar em conta o tipo de tijolo e revestimento utilizado e a espessura final definida pelo arquiteto. Para residências recomenda-se vigas de 12 cm, de maneira a ficarem embutidas em alvenarias de 15 cm. A altura das vigas de concreto armado podem ser calculada pela expressão:

$$h = L/10 \text{ a } L/12,5 \text{ com } h_{\min} = 25 \text{ cm}$$

Onde L é o vão da viga, normalmente igual à distância entre os eixos de pilares de apoio.

Para vigas contínuas com vão adjacentes de dimensões comparáveis ( $2/3$  a  $3/2$ ), costuma-se uniformizar a altura das vigas com valores iguais a  $L/12$  a  $L/16$ . Vigas em balanço são normalmente evitadas em concreto pré-moldado.

As vigas em concreto protendido são normalmente utilizadas quando são necessários vãos superiores a 6,0 m ou quando as cargas atuantes são intensas (mercados, indústrias, etc). Como regra simples de pré-dimensionamento pode-se utilizar a relação  $h = L/16$  a  $L/18$  para as vigas protendidas isoladas.

Normalmente, a resistência característica à compressão do concreto do concreto é superior a 35 MPa em vigas pré-moldadas e há preferência de utilização pelas cordoalhas do tipo CP190 RB, com alongamento em torno de 7,5 mm/m. As seções mais utilizadas para as vigas de concreto pré-moldado são do tipo retangular, T, T invertido, duplo T e L. A Figura 31 ilustra as seções transversais mais utilizadas para vigas.

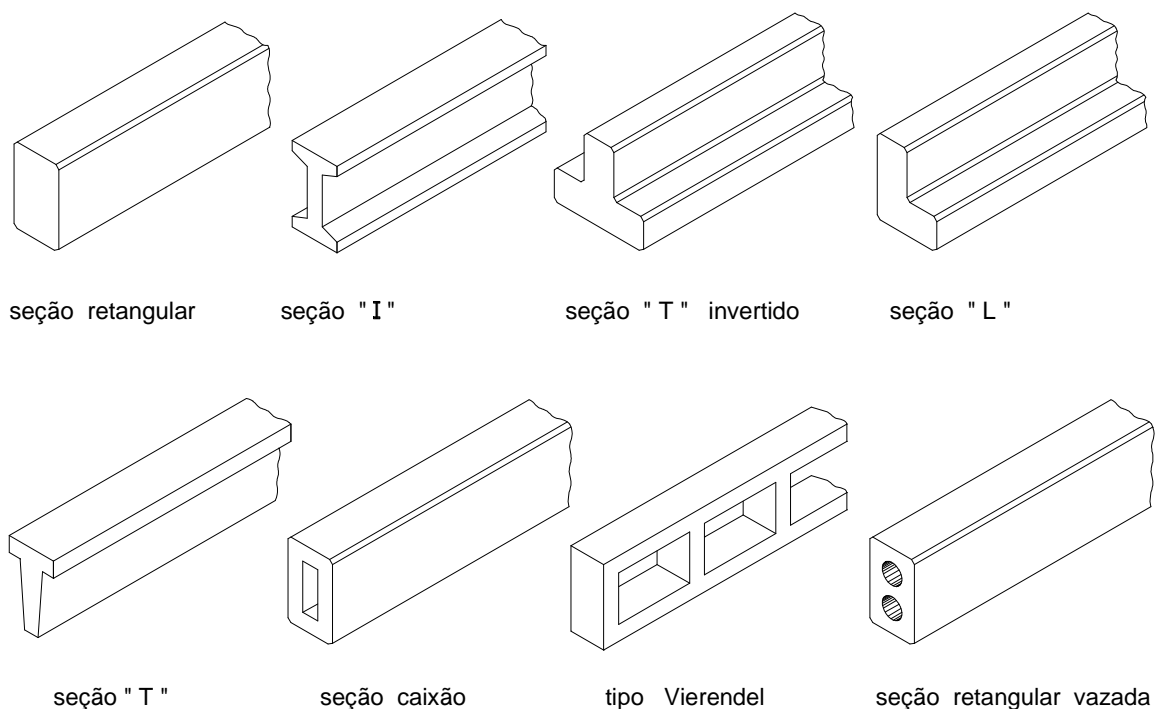


Figura 31 - Seções transversais utilizadas em vigas pré-moldadas (Fonte: EL DEBS (2000))

De maneira geral, as empresas de pré-moldados procuram padronizar as dimensões das vigas, em função das fôrmas disponíveis e do tipo de construção a que estão habituadas. A Figura 32 ilustra um exemplo de padronização de dimensões de vigas utilizada pela Rotesma Pré-Fabricados.

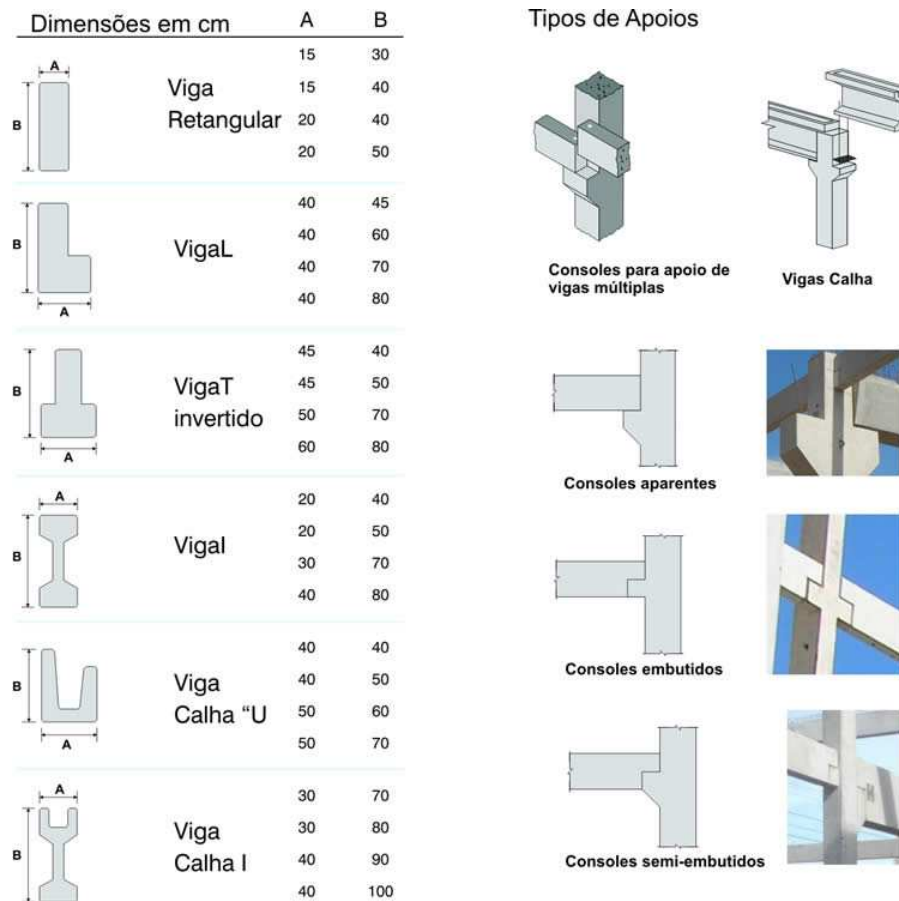


Figura 32 - Exemplo de seções padronizadas de vigas pré-moldadas

(Fonte: <http://www.otesma.com.br>)

#### 4.3.2 Pré-Dimensionamento de Pilares Pré-Moldados

De acordo com SOUZA (2008), os pilares devem ser dimensionados de maneira a resistir às cargas verticais da edificação e, junto com as vigas, formar pórticos de contraventamento capazes de resistir aos esforços horizontais. A determinação da seção trasnversal pode ser feita de maneira aproximada utilizando-se o conceito de área de influência.

A área de influência de um pilar é obtida a partir das figuras geométricas que envolvem os pilares formadas por retas que passam pela mediatriz dos segmentos de reta que unem pilares adjacentes e pelo contorno do pavimento. Costuma-se não descontar furos e poços de elevadores. A Figura 33 abaixo apresenta um exemplo de determinação de áreas de influência.

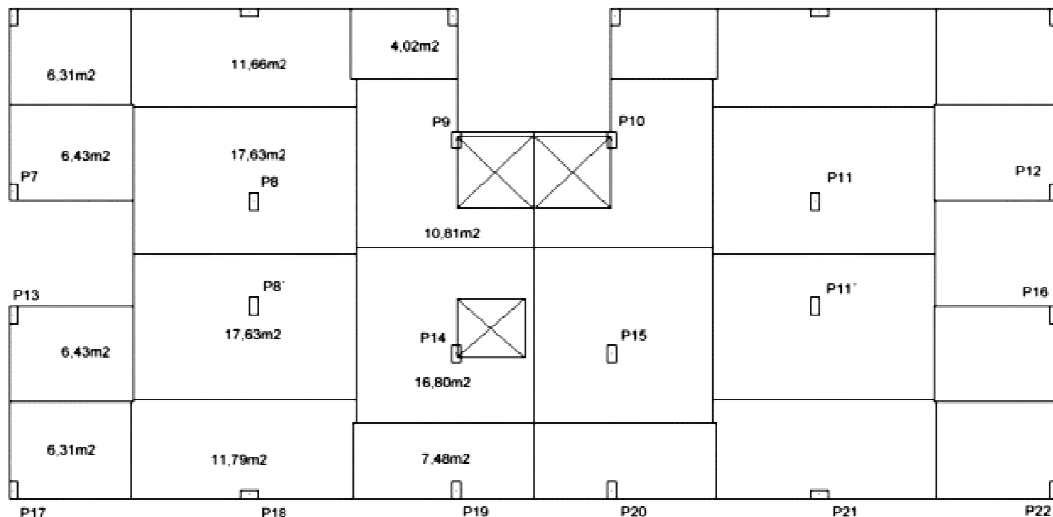


Figura 33 - Exemplo de determinação de áreas de influência de pilares (SOUZA(2008))

De acordo com a NBR6118 (2003), a área do pilar deve ser superior a 360 cm<sup>2</sup>, sendo a menor dimensão maior ou igual a 12 cm, o que conduz a mínima dimensão de 12 x 30 cm. Para efeito de pré-dimensionamento, pode-se fixar uma dimensão do pilar pré-moldado (20 cm, por exemplo) e encontrar a outra dimensão conforme a expressão abaixo, recomendada por SOUZA (2008):

$$h = \frac{(10 \text{ a } 12 \text{ kN/m}^2) \cdot A_{\text{inf}}}{0,5 \cdot b \cdot f_{\text{ck}}}$$

Sendo  $A_{\text{inf}}$  = área de influência do pilar e 10 a 12 kN/m<sup>2</sup> a carga média atuante em pavimentos de edifícios incluindo cargas permanentes e cargas acidentais. A área de influência é formada pela figura geométrica resultante da união da linha média entre eixos de pilares. A área de influência econômica deve resultar entre 15 e 20 m<sup>2</sup> de área de pavimento do pilar. Em pré-moldados, os pilares costumam ficar espaçados entre 4,0 e 8,0 m, possuindo as mais diversas formas geométricas conforme ilustra a Figura 34.



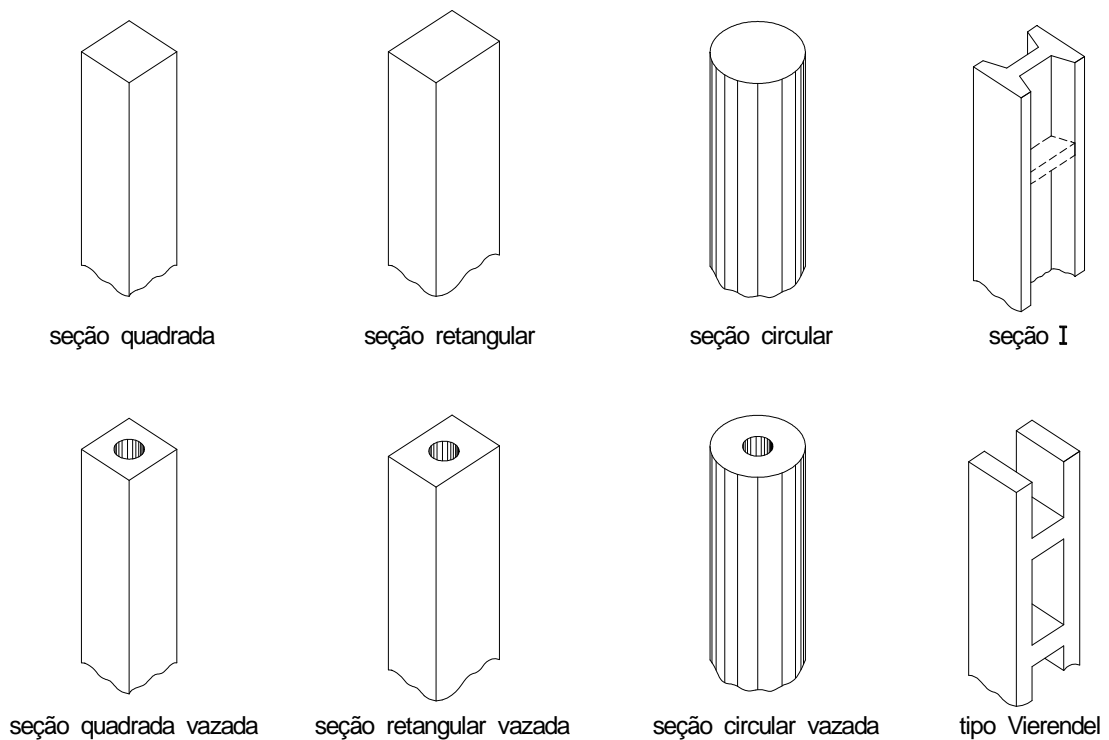


Figura 34 - Seções transversais utilizadas em pilares pré-moldados

(Fonte: EL DEBS (2000))

### 4.3.3 Pré-Dimensionamento de Lajes Pré-Moldadas

Existe uma grande variedade de lajes pré-moldadas disponíveis no mercado. Procura-se apresentar no presente trabalho algumas regras simples para a escolha de lajes com vigotas convencionais ou treliçadas (simples ou protendidas), lajes do tipo pi, pré-lajes e lajes alveolares.

#### a) Laje pré-fabricada convencional

De acordo com BASTOS (2005), é chamada laje pré-fabricada convencional aquela laje constituída por nervuras na forma de um T invertido, conforme indicado na Figura 35. Também é formada pelas nervuras (vigotas), capa e material de enchimento. Após o surgimento das lajes treliça, as lajes convencionais têm sido utilizadas quase que exclusivamente como lajes de forro. O cálculo da altura dessas lajes é normalmente feito utilizando a relação  $L/35$  a  $L/40$ .

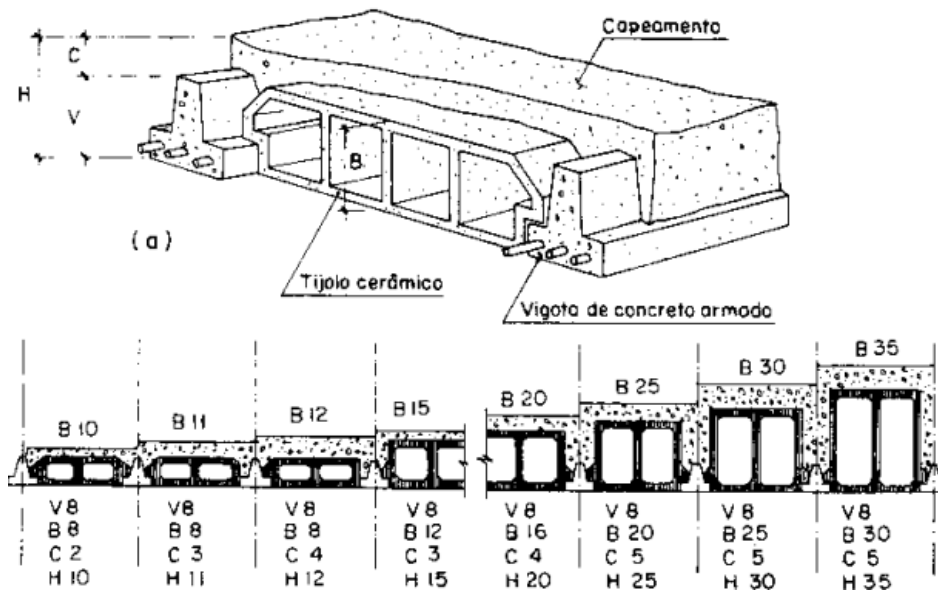


Figura 35 - Laje pré-fabricada convencional

(Fonte: BASTOS(2005))

#### b) Laje pré-fabricada com vigotas treliçadas

As vigotas treliçadas têm sido utilizadas frequentemente como solução para pisos residências em conjunto com estruturas em concreto moldado no local. Esse tipo de solução permite uma economia significativa de fôrmas, além de adicionar rapidez ao processo construtivo. A Figura 36 ilustra um exemplo de aplicação desse sistema, que pode ser utilizado com EPS, elementos cerâmicos ou ainda concreto celular.



Figura 36 - Lajes treliçadas com elementos de enchimento em EPS e blocos cerâmicos

O pré-dimensionamento da altura das lajes com vigotas treliçadas normalmente é feito utilizando-se a relação L/35 a L/40. No entanto, há no mercado uma série de tabelas disponibilizadas pelo fabricantes, de maneira que é possível relacionar o máximo vão e o máximo carregamento para determinadas altura, facilitando assim o trabalho do arquiteto. As Figuras 37, 38 e 39 ilustram tabelas de dimensionamento para lajes treliçadas com diferentes possibilidades de enchimento.

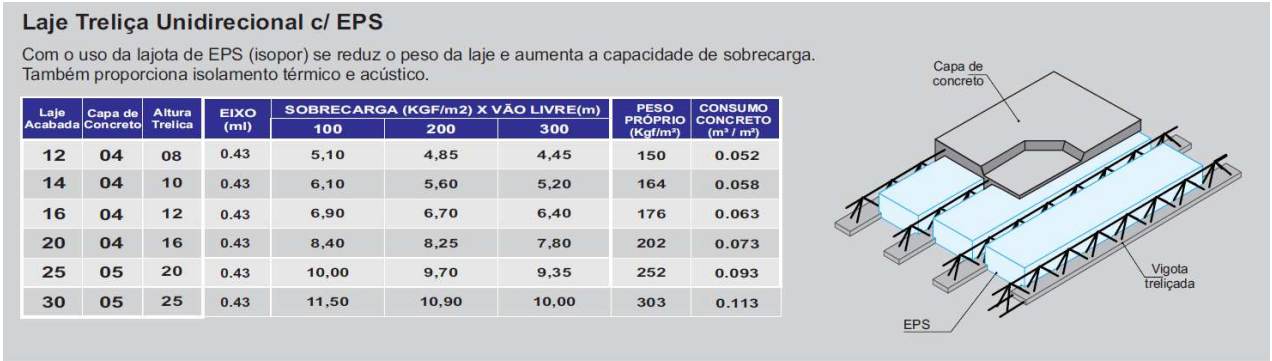


Figura 37 - Laje treliçada unidirecional com blocos de EPS

(Fonte: <http://www.lajesalema.com.br>)



Figura 38 - Laje treliçada unidirecional com blocos cerâmicos

(Fonte: <http://www.lajesalema.com.br>)

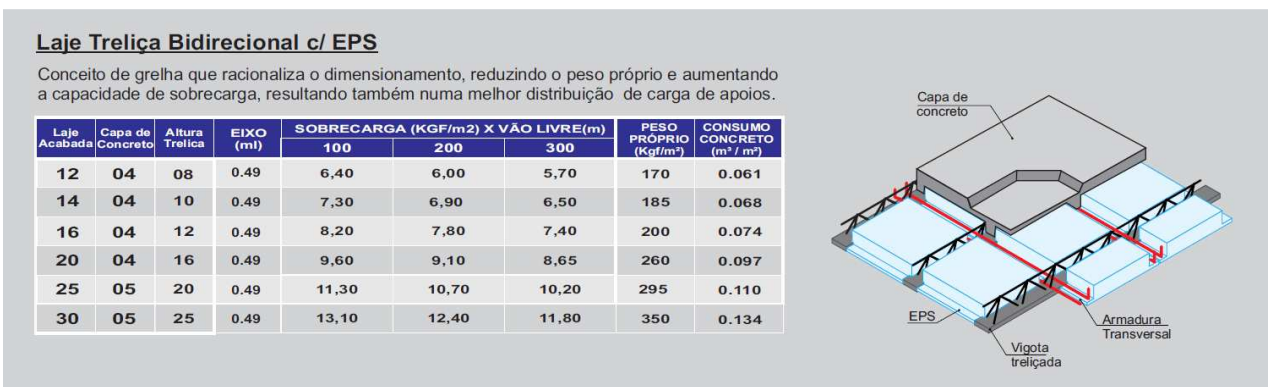


Figura 39 - Laje treliçada bidirecional com blocos de EPS

(<http://www.lajesalema.com.br>)

c) Laje pré-fabricada com vigotas protendidas

As vigotas protendidas têm sido uma opção que começa a crescer muito no mercado em virtude dos vãos mais pronunciados que as lajes pré-moldadas podem alcançar. Além disso, a protensão, normalmente realizada utilizada com fios e protensão aderente, possibilita redução das fissuras, flechas, peso próprio. A Figura 40 procura apresentar uma tabela prática, onde pode-se selecionar a altura da laje em função do vão e do carregamento atuante.

ELEMENTO DE ENCHIMENTO	COMPOSIÇÃO	Peso Próprio (kgf/m <sup>2</sup> )	Consumo Concreto (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )	Condição de Apoio	Vãos Máximos (cm)										
					Sobrecargas (kgf/m <sup>2</sup> )										
					50	100	200	250	300	400	500	600	700	800	1000
CERÂMICA		151	0,033	A-A E-A E-E	675	600	505	475	445	405	370	345	325	305	275
	755				675	570	535	505	455	420	390	365	345	315	
	830				765	670	625	590	535	495	460	430	410	370	
		171	0,043	A-A E-A E-E	730	655	555	520	490	445	410	380	355	340	305
	765				735	620	590	555	500	465	430	405	385	350	
	860				775	735	690	650	590	545	510	480	460	410	
		211	0,051	A-A E-A E-E	745	690	665	625	590	540	500	480	440	415	380
	840				765	750	705	670	610	570	550	500	475	430	
	910				895	775	750	735	720	665	645	595	565	515	
		171	0,044	A-A E-A E-E	765	715	615	575	545	495	455	415	400	375	340
	815				765	690	650	615	555	515	480	450	425	390	
	940				855	765	760	710	655	605	565	530	505	460	
	220	0,054	A-A E-A E-E	805	765	720	680	645	590	545	510	480	455	415	
900				825	765	755	730	655	615	580	550	515	475		
950				930	840	795	765	755	725	680	645	610	560		
	257	0,064	A-A E-A E-E	870	805	750	740	725	665	620	580	550	520	480	
910				900	795	755	750	730	700	660	620	595	545		
950				940	910	885	845	780	750	730	715	700	670		
	290	0,074	A-A E-A E-E	870	855	760	725	720	700	680	640	605	580	530	
910				880	860	815	780	720	710	700	685	655	600		
915				910	900	880	870	850	795	750	720	710	700		
EPS		134	0,054	A-A E-A E-E	765	700	580	540	510	455	420	390	365	345	310
	805				765	655	610	575	515	475	440	415	390	355	
	930				830	765	715	675	610	570	510	485	460	420	
		167	0,056	A-A E-A E-E	895	800	765	720	680	615	565	525	495	470	425
	965				895	765	765	760	695	640	595	560	530	480	
	1000				965	890	835	790	765	750	700	680	645	570	
		191	0,064	A-A E-A E-E	965	890	765	765	765	705	650	605	570	540	490
	1000				965	860	810	765	765	735	685	645	610	555	
	1000				1000	965	945	895	815	765	765	765	760	720	655
		217	0,074	A-A E-A E-E	960	950	830	780	765	765	720	670	635	600	550
	1000				985	935	880	840	765	765	765	760	720	680	620
	1000				1000	1000	950	950	900	835	785	765	765	735	
	290	0,096	A-A E-A E-E	1000	980	945	900	860	790	765	765	750	715	655	
1000				1000	975	965	965	890	830	780	765	765	740		
1000				1000	1000	1000	1000	965	965	920	870	830	785		
	365	0,121	A-A E-A E-E	1200	1200	1085	1040	1000	930	870	820	780	745	690	
1200				1200	1200	1165	1120	1045	980	825	880	840	780		
1200				1200	1200	1200	1200	1200	1145	1085	1035	990	915		

**Observações:**

**Peso Próprio** = Peso das vigotas + peso dos elementos de enchimento + peso do capeamento.

**Consumo de concreto** = Volume de concreto para capeamento da laje.

**Sobrecargas** = Cargas acidentais + cargas permanentes.

(\*) Não adicionar o peso próprio à carga permanente na utilização desta tabela, pois o mesmo já está considerado nos cálculos.

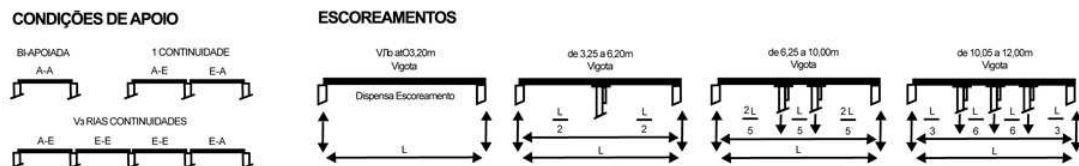
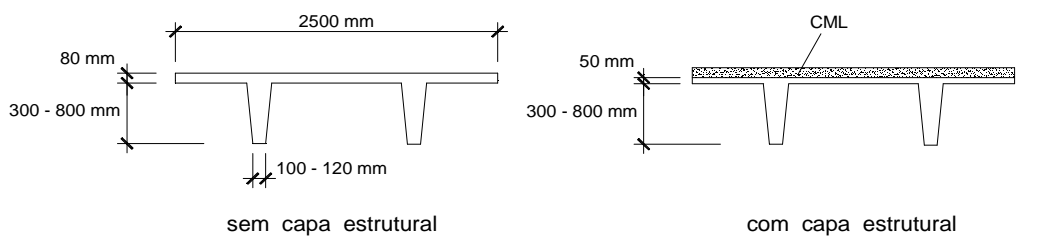


Figura 40 - Laje treliçada bidirecional com blocos de EPS

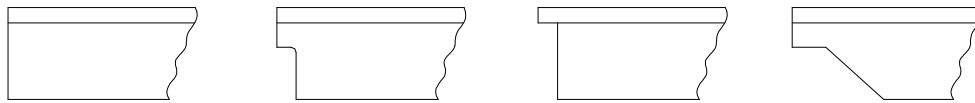
(<http://www.lajestamoyo.com.br>)

#### d) Lajes Tipo Pi ou Duplo T

As lajes do tipo Pi (ou Duplo T) são normalmente executadas em pistas de protensão e podem alcançar vãos entre 5 a 30 m. Apesar do vão pronunciado que podem alcançar carregam a desvantagem de apresentar uma elevada altura, que por sua vez pode prejudicar esteticamente alguns ambientes. A altura das lajes do tipo Pi é normalmente estimada através da relação  $L/30$  sendo que as dimensões mais comuns são aquelas ilustradas na Figura 41.



a) tipos de seções transversais



b) forma dos elementos junto aos apoios

Figura 41 - Laje pré-moldada do tipo Pi ou Duplo T

(Fonte: EL DEBS (2000))

A Figura X ilustra a fôrma utilizada para a confecção da laje Pi e o içamento da peça acabada. Deve-se observar que a laje Pi é um elemento bastante versátil, também podendo servir como elemento de fechamento lateral de edificações, inclusive como contenção. A Figura 42 ilustra as dimensões da Laje Pi normalmente utilizada pela empresa Cassol.

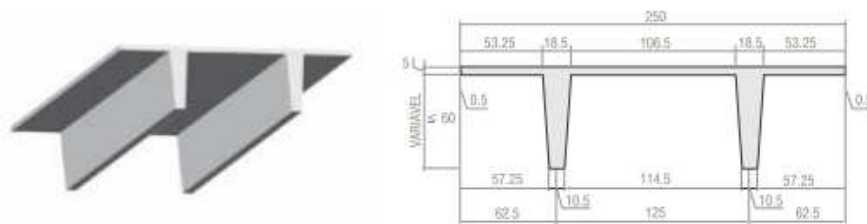


Figura 42 - Dimensões da laje pi fabricada pela Cassol

(Fonte: <http://www.arweb.com.br/cassol/>)

### e) Lajes Alveolares

As lajes alveolares são uma opção muito interessante para grandes vãos e alturas de lajes relativamente baixas. Com larguras variando entre 1,0 a 2,5 m, as lajes alveolares podem atingir vãos de 5 a 15 m, com uma altura estimada em  $L/50$ .

Os alvéolos podem apresentar várias formas (circular, oval, falsa elipse, retangular, etc) e o rendimento de uma equipe de montagem de três operários pode chegar, sem dificuldade, a  $50 \text{ m}^2/\text{h}$ , o que equivale a  $400 \text{ m}^2$  em 8 horas de trabalho. A Figura 43 demonstra que as lajes alveolares podem ou não receber capa de concreto, bem como podem suportar aberturas, desde que adequadamente projetadas.

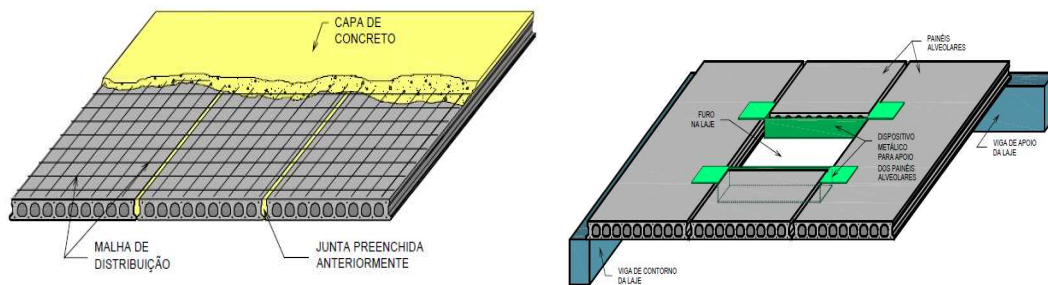


Figura 43 - Laje alveolar com capa de concreto e sujeita a aberturas

(Fonte: <http://www.tatu.com.br>)

As lajes alveolares, além de se apresentarem como uma excelente opção para pisos, também podem ser utilizadas para vedação lateral e contenção. Em função do equipamento utilizado, cada empresa possui dimensões padronizadas. A Figura 44 ilustra as dimensões da laje LP20, produzida pela empresa Protendit, enquanto a Figura 45 ilustra lajes alveolares produzidas pela empresa Cassol.

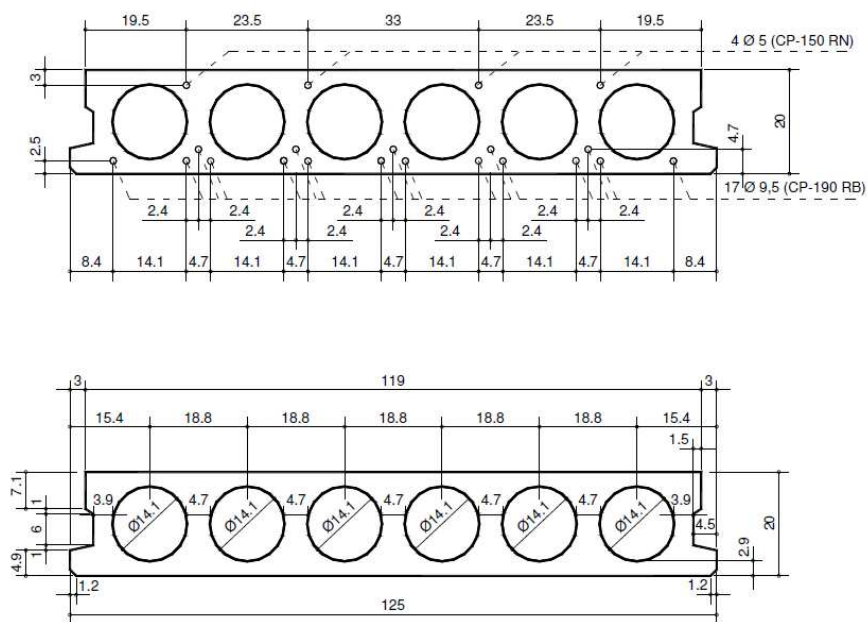


Figura 44 - Dimensões da laje alveolar LP20 produzida pela empresa Protendit  
(Fonte: <http://www.protendit.com.br>)

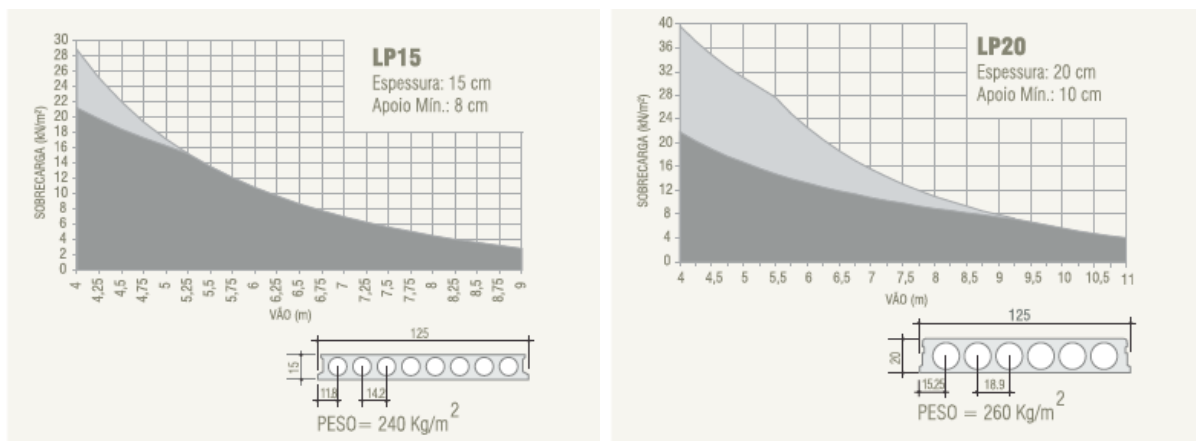


Figura 45 - Lajes alveolares LP15 e LP20 produzidas pela empresa Cassol  
(Fonte: <http://www.arweb.com.br/cassol/>)

## 5. ESTUDO DE CASO

### 5.1 Casa Gerassi

De acordo com MILHEIRO (2002) algumas gerações de arquitetos oriundos de países como o Brasil, vislumbraram no sistema pé-fabricado uma solução a médio prazo para o problema da habitação popular, o que não haveria de cumprir-se por razões estranhas à cultura arquitetônica, ainda que também por desencanto da classe profissional que não se organizou para realizar a “revolução necessária” que permitiria atingir um estágio de produção massiva e contínua.

No caso brasileiro, ainda, a importância que o sistema construtivo assumiria na configuração formal da arquitetura, viria a ser um dos seus contributos mais celebrados internacionalmente. A Casa Gerassi poderia, nesta visão unívoca, ser reduzida a herdeira de duas outras moradas paulistanas extraordinárias do arquiteto Vilanova Artigas: a Casa Mendes André (1966) como ilustra a Figura 46, também de programa moderno, suspensa do solo e configurada pelo sistema construtivo proposto na sua execução: uma treliça em que a tração e a compressão se expõem e; a Casa Telmo Porto (1968), Figuras 47 e 48, de sofisticado apuro tecnológico, elevada num pilar único, cujo processo construtivo se completa com mais três elementos: duas paredes de carga, vigas pré-fabricadas de cobertura e laje.



Figura 46 – Casa Mendes André (1966) – Vilanova Artigas

Fonte: <http://vitruvius.es>





Figura 47 – Casa Telmo Porto (1968) – Vilanova Artigas

Fonte: KAMITA (2000)

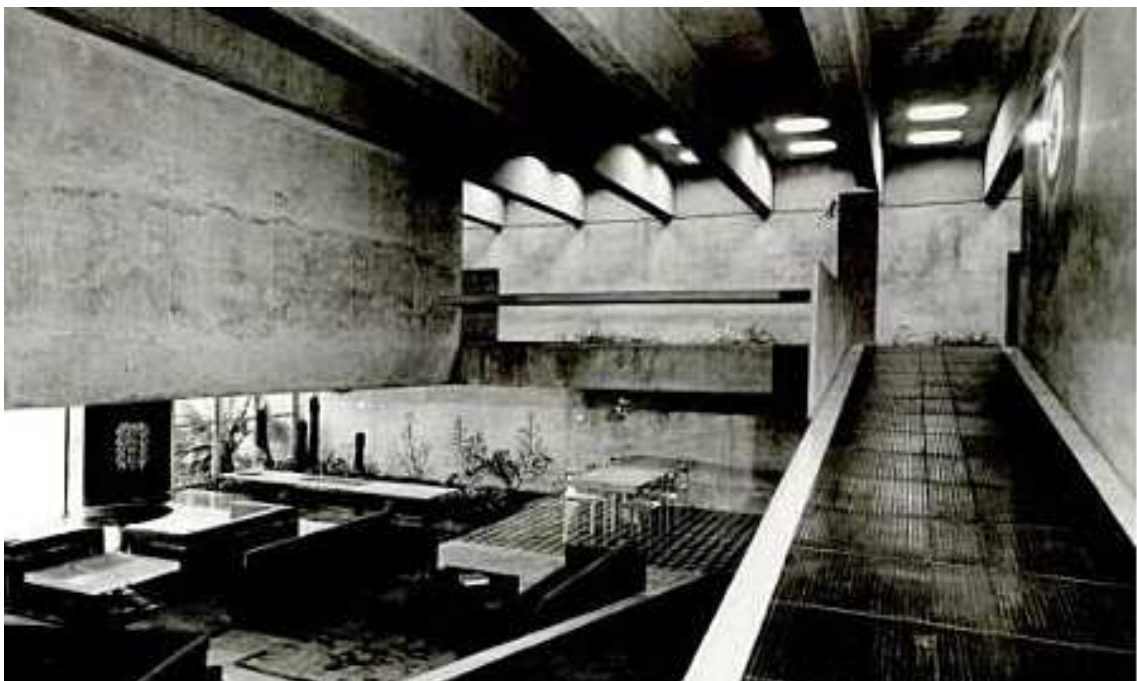


Figura 48 – Casa Telmo Porto (1968) – Vilanova Artigas

Fonte: KAMITA (2000)

Projetada pelo Arquiteto Paulo Mendes da Rocha para a família de Antonio e Maria Angélica Gerassi, a “Casa Gerassi” foi escolhida para estudo de caso deste trabalho, por ser um exemplo de obra arquitetônica que ajuda a desmistificar o uso e aplicações de pré-moldados.

A Casa Gerassi possui 420 m<sup>2</sup> e foi construída para um terreno residencial de 700m<sup>2</sup>, localizado na cidade de São Paulo. Conforme ilustra a Figura 49, o arquiteto prezou pela utilização de concreto aparente, destacando na fachada a presença de uma viga pré-moldada de grande vão, que por sua vez se apoia em consolos acoplados aos poucos pilares da edificação.



Figura 49 - Fachada da Casa Gerassi

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

Como se pode observar na Figura 50, o térreo da edificação foi totalmente liberado para lazer e garagem. O pavimento em questão apresenta apenas dois volumes, um responsável por abrigar a escada e o outro destinado ao banheiro e pequeno serviço, além de uma piscina em formato trapezoidal.

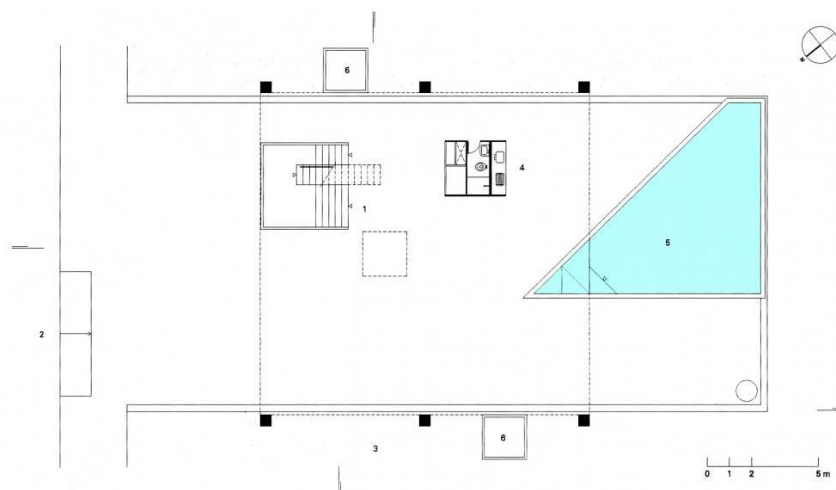


Figura 50 – Pavimento térreo da Casa Gerassi

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

No segundo pavimento é onde acontecem as atividades rotineiras da casa, conforme ilustra a Figura 51. O acesso acontece exclusivamente pela escada, chegando a um pequeno hall que possibilita a entrada tanto para a área social quanto para área de serviços. A casa não apresenta corredores, sendo que o acesso às três suítes se dá diretamente pela sala. A concepção da cozinha é americana, desenvolvendo-se linearmente, conectando-se com lavanderia, dispensa e banheiro de empregados.

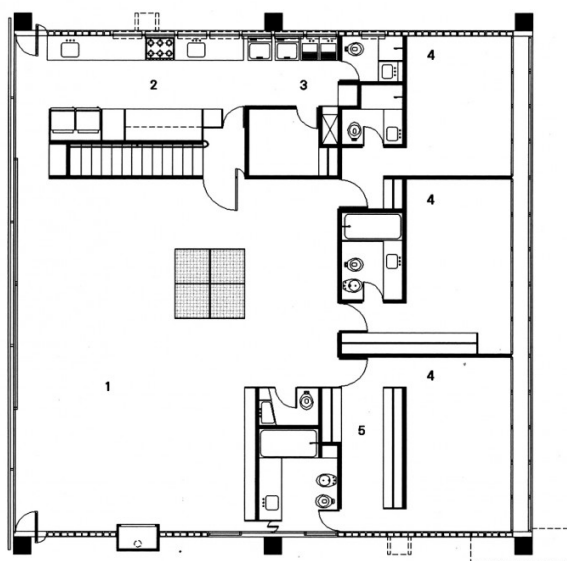


Figura 51 - Planta do Pavimento Superior da Casa Gerassi

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

A casa apresenta-se estruturada em seis pilares de seção quadrada dispostos nas laterais do edifício, conforme ilustram as Figuras 50 e 51. Conformando o piso do pavimento principal da casa, três vigas transversais unem em pares os pilares, que já levam moldado consigo os apoios para elas. Outras três vigas, acima e alinhada às primeiras, estruturam a laje de cobertura (Figura 52). Lateralmente, outras oito vigas unem em pares as extremidades das demais vigas. Os pilares ficam, assim, visualmente destacados do volume do edifício. Foram precisos apenas dois dias e meio para a montagem dessa estrutura principal. (FRACALLOSSI, 2012).

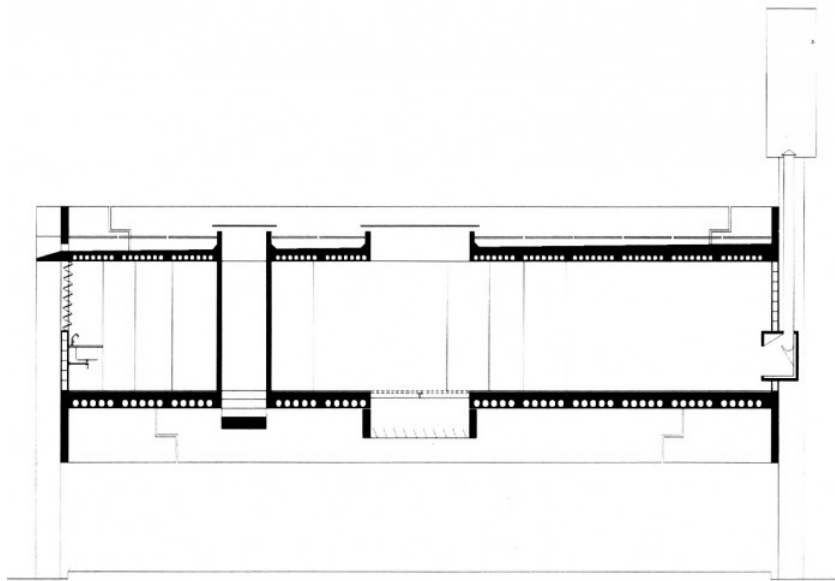


Figura 52 - Corte longitudinal da Casa Gerassi

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

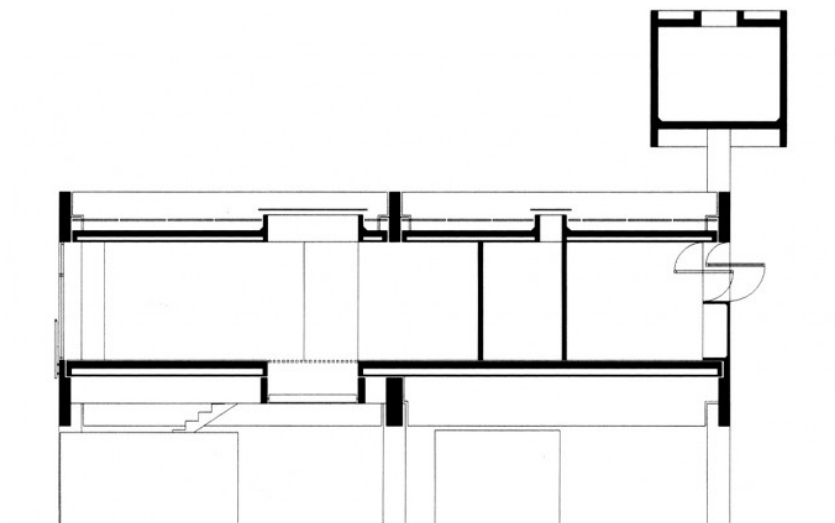


Figura 53 - Corte transversal da Casa Gerassi

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

Fica bastante visível a influência da arquitetura moderna no projeto da casa. Paulo Mendes se apropria de quatro pilares do movimento: planta livre, pilotis, fachada livre e janela em fita, conforme pode-se observar na Figura 54.



Figura 54 – Presença de planta livre e janela em fita na Casa Gerassi

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

A Figura 55 ilustra algumas vistas internas do segundo piso da Casa Gerassi. Pode-se observar a ausência de pilares internos, o que por sua vez propiciando grandes vãos livres e áreas muito flexíveis. Adicionalmente, observa-se no teto a presença de lajes alveolares que foram simplesmente pintadas, mantendo-se assim um aspecto mais rústico do concreto.



Figura 55 – Vistas internas do segundo piso da Casa Gerassi

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

A Figura 56 ilustra a presença de uma calarabóia muito interessante utilizada pelo arquiteto. Observa-se que no segundo pavimento os raios de luz penetram pela clarabóia da cobertura e chegam ao pavimento térreo devido à presença de uma grelha metálica existente no segundo piso. Ainda na Figura 56, fica aparente o brutalismo do concreto, dando até mesmo a falsa ilusão de uma estrutura em concreto moldada no local.

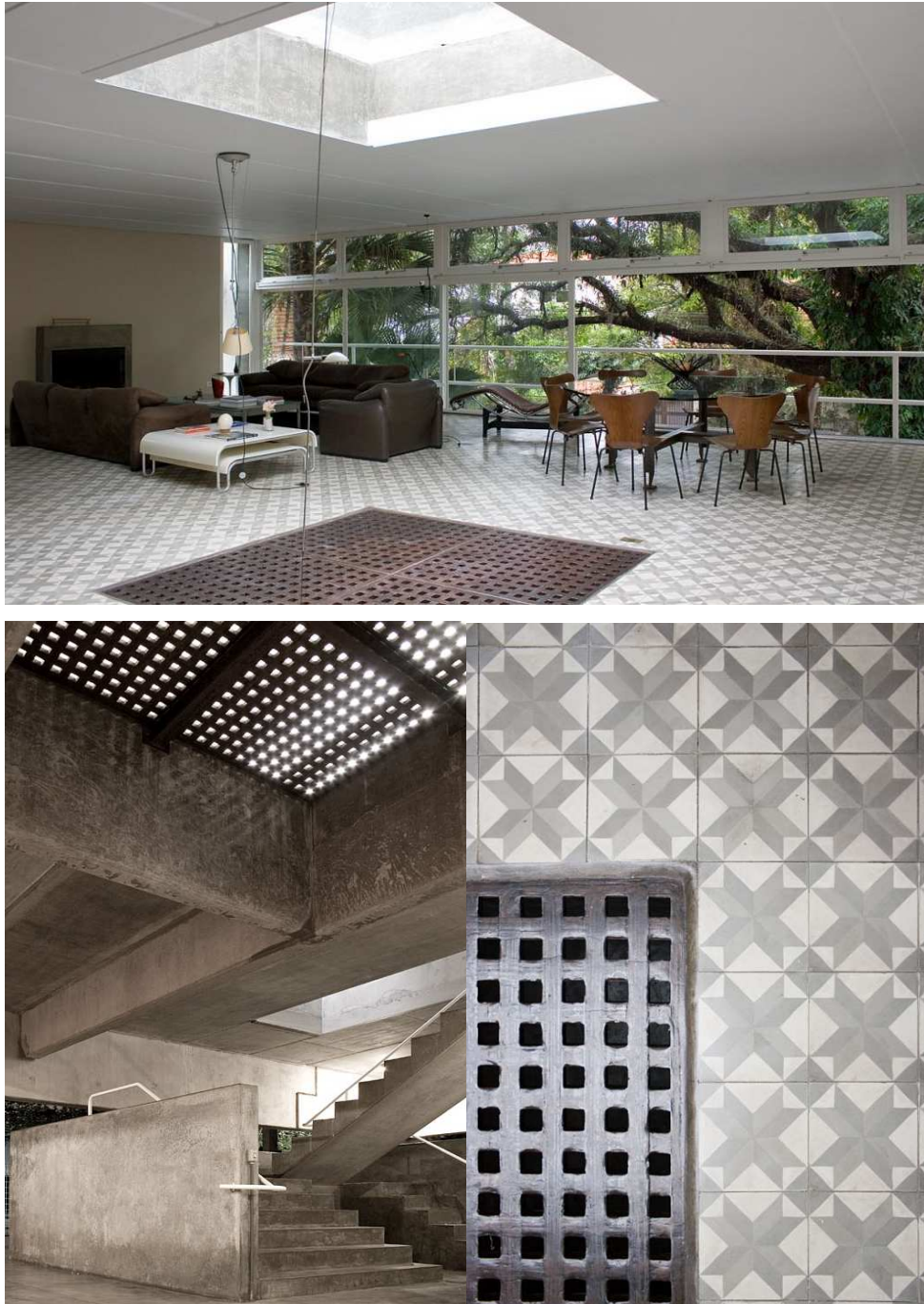


Figura 56 – Calarabóia e grelha utilizadas para iluminação natural

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>

Clarabóias também foram utilizadas para iluminação e ventilação da cozinha e banheiros. Adicionalmente, o apoio da caixa d'água foi feito diretamente sobre um dos pilares. A Figura 57 procura ilustrar esses detalhes que chamam a atenção na Casa Gerassi.



Figura 57 – Detalhe de iluminação na cozinha e caixa d'água apoiada em pilar

Fonte: <http://www.archdaily.com.br>



Entrevistado por MILHEIRO (2002), o Arquiteto Paulo Mendes da Rocha, revela detalhes da Casa Gerassi. Trata-se de uma entrevista reveladora, que ajuda a entender melhor todo o processo de concepção e construção da Casa Gerassi. A seguir, alguns trechos relevantes para o entendimento da referida edificação:

*“ Em princípio, há uma questão muito intrigante: você pode fazer uma casa com o material que tiver. Isso não é jogo de palavras. É uma verdade absoluta. Se possui só lixo, você faz uma bela casa na favela. Um arquiteto, então, surge do povo e faz uma casa linda.*

*Havia também a questão que eu não gosto de fazer casas porque, seriamente, em São Paulo é uma bobagem fazer uma casa isolada. São quinhentos, seiscentos, setecentos metros quadrados de terreno para fazer uma casa... Mas existem esses loteamentos, ou seja, o terreno estava lá para fazer. E, com essa idéia de que se pode fazer uma casa com qualquer material, pode-se fazer exercício em torno dela. Não sei por que é que me ocorreu que alguma coisa se podia fazer, sem saber qual seria no caso.*

*Pensei, nessa intrigante questão: que para resolver o problema da habitação popular se usa empregar alta técnica de pré-fabricação, fazer em série etc.*

*E, com isso, estigmatizou-se que pré-fabricado é uma porcaria, que é para pobre, porque cria padrão; que o arquiteto não tem liberdade para fazer o que imagina, se está submetido a uma técnica rigorosa.*

*Veio-me procurar uma pessoa que eu não conhecia [para encomendar o projeto de uma casa]. Eu descobri que era engenheiro. E pensei que poderia seduzir esse engenheiro pela racionalidade dele, pela inteligência peculiar da sua formação. Comecei a falar de custos, de tempo de construção e da beleza da técnica límpida...*

*Era uma casa para um casal com duas filhinhas, hoje os meus queridos amigos Antônio e Maria Angélica. Mostrei-lhe que se tivesse todo aquele terreno [do lote] para brincar, para piscina, para jardim, se fizéssemos uma casa elevada e se a fizéssemos pré-fabricada,*

*montava-se em três dias e ia custar metade do preço. Ele não tinha pensado nisso. Começou a se interessar.*

*Chamei os técnicos de uma fábrica de pré-fabricados. Fizemos uma reunião conjunta, para [o cliente] confirmar as virtudes daquilo. Os técnicos precisavam de dois ou três meses para fabricar as peças, porque não têm estoque, mas [confirmaram que] uma vez fabricadas montava-se a casa em três dias. Depois só ficava a parte de acabamentos. Representava um sucesso extraordinário quanto à eficácia do ato de construir. Construir com eficiência, a casa custa metade do preço. Ele se entusiasmou tanto, que eu fiz. Chamei esses técnicos; acertamos as peças que eles tinham de elenco.*

*Montamos a casa, que, de fato, começou quinta-feira e sábado, ao meio-dia, tinha terminado. No dia da montagem da estrutura juntou-se a população da vizinhança toda na calçada. Quiseram embargar a obra porque diziam que aquele bairro era exclusivamente habitacional, ou seja, aquele extraordinário evento não podia ser uma casa. Não pela forma, que não estavam entendendo bem o que era. Mas pelo extraordinário evento que se deu ali: caminhões que entraram com guias e guinchos.*

*Então foi uma demonstração extraordinária, mesmo para mim, e para todos, porque alguns desses episódios eu não esperava, principalmente que juntasse a população. Ao mesmo tempo acho que foi possível engendrar uma casinha tão gentil com todos os recursos da poesia da casa, da simplicidade de se morar ali, que se realiza tão bem.*

*E também nessa casa tive o prazer de ver essa essencialidade, o que as virtudes da própria pré-fabricação, por sua vez, passam até a exigir. Não se vai empastelar aquilo tudo, que depois não se sabe mais o que era. Antes se deixa ali aquele esqueleto cru, com os seus caixilhos de cristal, tudo aparafusado uma coisa na outra, como se os pedaços com que foi feito servissem sempre até o fim. Mesmo depois de acabada, com os seus requintes e detalhes, não se deformasse quanto à possibilidade de se desmontar tudo inteiro e montar tudo de novo. Uma coisa que criança gostaria.*

*Tenho uma atração muito grande por essa idéia de ‘meninos engenhosos’. Você se deforma com a erudição. Ou pode se deformar. Tomara que não se deformasse. Bendita erudição! Não estou defendendo o obscurantismo. Mas é muito possível você se deformar por uma visão errática de uma mentalidade erudita, que te obriga a fazer as coisas. Você perde a liberdade. Tenho a impressão que um momento de grande sabedoria pode-se associar - numa visão até certo ponto fantasiosa, literária - à idéia de ‘menino engenhoso’, que você vê logo como é que fez aquilo e, entretanto, é surpreendente o que ele fez. Como se fosse o conhecimento inaugurado naquele instante, com a simplicidade que precisa ter: momento de inércia, momento fletor, carga na fundação... coisas muito simples. Mesmo ver as peças antes, para montar uma casa, é muito de jogo.*

*Em rigor são três peças: vigas, pilares e lajes. Elementos que engendram uma série de decorrências, como se fosse música. Sendo assim, a obrigação a que eu me impus, e que o próprio sistema impõe do ponto de vista ético e estético, associados como uma coisa só, é manter a dignidade do sistema. Para realizar essa doçura da casa você se obriga - ou, se não se obriga, não me lembrei de recurso melhor -, a argumentos assim: o pequeno ladrilho hidráulico colorido no chão. O que fica muito bem como acabamento desse tipo de estrutura, porque é ligeiro, com poucos milímetros de espessura.*

*Esse colorido de estampado de casaspernambucanas faz a casa. Como se tivesse acabado de chover, ou como se fosse lavar a casa. Como é lindo ver aquilo, uma parte que bate sol, outra que está em sombra. É muito lindo. Você vê que recursos de desenhos, de artefatos, da cultura popular não necessitam que você faça uma casa ‘estilo isto’ ou ‘estilo aquilo’, que é uma questão muito ligada à idéia de contexto, às vezes, mal-interpretada. É uma visão fragmentária do discurso, como se os elementos construtivos fossem palavras na literatura. Então você pega aquela palavra e organiza o texto todo - a palavra que faltava.*

*Portanto, não é o discurso que é contextual. São as palavras que são oportunas e você volta a dizer a mesma coisa, porém, de novo e não com as mesmas coisas, desde que o arranjo seja outro, o que é muito interessante.*

*Há aspectos eminentemente técnicos - que não são tanto da tecnologia da construção - também muito interessantes: como restituir o terreno todo, a área toda do lote, para diversão das crianças. Você começa a pensar: qual é o espaço da brincadeira? Qual é o espaço da piscina? Qual é o espaço do jardim? Qual é o espaço para guardar os automóveis? Ou então: qual é o espaço de área de recepção vestibular da casa? Por que não o terreno todo coberto pela área da casa suspensa num andar só?*

## 6. CONCLUSÕES

O concreto pré-moldado pode ser uma alternativa muito atraente para se construir de maneira mais econômica, eficiente, segura, durável e sustentável, além de apresentar-se como uma solução estruturalmente segura e com grande versatilidade arquitetônica.

Contudo, a utilização de elementos em concreto pré-moldado ainda é bastante tímida entre muitos engenheiros e arquitetos, muitas vezes tomando-se como justificativa a falta de beleza arquitetônica destas construções.

Ao se pronunciar a palavra pré-moldado, muitos profissionais automaticamente associam a mesma aos galpões/barracões industriais ou ainda às construções sem apelo estético. Isso é um grande erro, uma vez que a utilização do pré-moldado só depende da criatividade do arquiteto.

Na realidade, o que se observa na prática, é uma falta de conhecimento mais aprofundado sobre as peculiaridades do pré-moldado, de maneira que o mesmo possa ser aplicado de maneira mais racional e até mesmo em escala industrial (pré-fabricado). Para a utilização adequada do sistema, o arquiteto precisa antes de tudo conhecer os materiais à sua disposição, regras básicas de pré-dimensionamento dos elementos estruturais (muitas vezes a arquitetura é a própria estrutura) e ainda conhecimento técnico sobre a interação entre os diversos sistemas (estrutural, hidráulico, elétrico, etc.)

Observa-se que a utilização de elementos pré-moldados de concreto começou a ter utilização intensa na Europa no pós-guerra, tendo-se em vista a escassez de mão-de-obra e a necessidade de se reconstruir as nações afetadas pela guerra em um curto espaço de tempo. No Brasil, observa-se a instalação de fábricas de pré-moldadas ainda na década de 50, com uma pronunciada tentativa de utilização na década de 80 por arquitetos de expressão como Niemeyer, Lelé, Vilanova Artigas e Paulo Mendes da Rocha.

A prática tem revelado que a utilização de elementos padronizados (pré-fabricados) pode propiciar um grande avanço da construção civil brasileira, construção esta ainda baseada nos sistemas artesanais de lajota sobre lajota complementando esqueletos constituídos de estrutura de concreto moldada no local.

Empresários de diversos setores já têm observado as inúmeras vantagens do pré-moldado, de maneira que o sistema passou a ser preferencial nos últimos anos em construções como: aeroportos, estádios, hospitais, redes de supermercados e shopping centers. Em um primeiro momento, as construções em concreto pré-moldado se apresentam mais onerosas do que as estruturas convencionais. Porém, levando-se em conta que a finalização das obras pré-moldadas é normalmente bem mais rápida do que as obras convencionais (semestre de vantagem), observa-se que a rentabilidade do negócio com esse tipo de solução é muito mais vantajosa. Porém, o empresariado já tem percebido que o problema não é encontrar empresas fornecedoras de elementos pré-moldados, mas sim arquitetos que saibam projetar com excelência utilizando tal sistema.

É reconhecida a dificuldade do arquiteto em admitir que a estrutura é uma ferramenta essencial para o sucesso de suas construções e, por esse mesmo motivo, observa-se que muitas vezes esse aspecto é deixado de lado na fase de concepção. No caso dos sistemas pré-moldados não é possível dissolver a interface arquitetura-estrutura no ato concepção, de maneira que o arquiteto precisa ter conhecimentos mais aprofundados sobre os elementos estruturais e os materiais à sua disposição.

Dentro desse contexto, o presente trabalho procurou contribuir no levantamento de diretrizes básicas de projeto utilizando elementos pré-moldados de concreto armado e protendido, fornecendo ao arquiteto um conjunto de estratégias necessárias para um melhor entendimento dos sistemas pré-fabricados em concreto. Acredita-se que foi possível fornecer, em uma linguagem mais acessível ao arquiteto, definições e regras básicas que irão contribuir de maneira significativa no desenvolvimento de projetos utilizando o sistema pré-moldado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.T e EL DEBS, M.K.. **“Levantamento dos Sistemas Estruturais em Concreto Pré-moldado para Edifícios no Brasil”**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, São Carlos, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **“NBR6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento”**, ABNT, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **“NBR9062 - Projeto e Execução de Estruturas em Concreto Pré-Moldado”**, ABNT, Rio de Janeiro, 2001.

BALLARIN, A. W.. **“Desempenho das Ligações de Elementos Estruturais Pré-Moldados de Concreto”**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

BASTOS, P. S. S. **“Fundamentos do Concreto Armado”**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2006.

BASTOS, P. S. S. **“Lajes de Concreto Armado”**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2005.

DAWSON, S.. **“Cast in Concrete: A Guide to the Design of Precast Concrete and Reconstructed Stone”**. Architectural Cladding Association, Inglaterra, 2003.

DELLA BELLA, J. C.. **“ES-012 – Estruturas Pré-Moldadas de Concreto”**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

EL DEBS, M. K.. **“Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações”**. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2000.

ELLIOT, K. S. **“Precast Concrete Structures”**. Editora Butterworth-Heinemann, Inglaterra, 2002.

FIGUEROLA, V. N. **“Do Padronizado ao Exclusivo”**. Revista AU, Dezembro, 2008.

FRACALOSSO, I.. **“Clássicos da Arquitetura: Casa Gerassi/Paulo Mendes da Rocha”**. Artigo publicado em 08 de Fevereiro de 2012 no Portal ArchDaily Brasil ([www.archdaily.com.br](http://www.archdaily.com.br)), São Paulo, 2012.

FUSCO, P. B.. **“Tecnologia do Concreto Estrutural: Tópicos Aplicados”**. Editora PINI, São Paulo-SP, 2008.

ISHITANI, I; MARTINS, A. R.; NETO, J. P.; DELLA BELLA, A. C.; BITTENCOURT, T. N.. **“PEF 2303 – Estruturas em Concreto I - Notas de Aula”**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

KAMITA, J. M.. **“Espaços da Arte Brasileira: Vilanova Artigas”**. Editora Cosac & Naify Edições, São Paulo, 2000.

MILHEIRO, A. V. **“Duas Palavras Sobre a Casa Gerassi”**. Entrevista com Paulo Mendes da Rocha publicada em 03 de Abril de 2002 no Portal ArcoWEB ([www.arcoweb.com.br](http://www.arcoweb.com.br)), São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, L. A.. **“Tecnologia de Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios”**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade São Paulo, São Paulo, 2002.

PINHEIRO, L. M.. **“SET 863 – Fundamentos do Concreto II”**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

REBELLO, Y. C. P.. **“A Concepção Estrutural e a Arquitetura”**. Editora Ziguarte, São Paulo, 2000.



SALAS, S. J. **“Construção Industrializada: Pré-Fabricação”**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1988.

SAYEGH, S. (2011). **“Estruturas Pré-Fabricadas de Concreto Exigem Projetos Altamente Detalhados”**. Revista AU, Agosto, 2011.

SOUZA, R. A.. **“Pré-Dimensionamento de Estruturas de Concreto, Aço e Madeira - Sistemas Estruturais III”**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

VAN ACKER, A. **“Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto”**. Tradução do texto de Prof. Dr. Marcelo Ferreira, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

VILELA JUNIOR, A.. **“A Casa na Obra de João Figueiras Lima, Lelé”**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2011.