

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EDUARDO LUIZETTO  
FABIANA GRANDO**

**ESTUDO DAS SOLUÇÕES EMPREGADAS EM CONSOLOS  
CURTOS MONOLÍTICOS DE PILARES PRÉ-MOLDADOS NA  
REGIÃO DE PATO BRANCO - PR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2014**

EDUARDO CEZAR LUIZETTO  
FABIANA GRANDO

ESTUDO DAS SOLUÇÕES EMPREGADAS EM CONSOLOS CURTOS  
MONOLÍTICOS DE PILARES PRÉ-MOLDADOS NA  
REGIÃO DE PATO BRANCO - PR

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias

PATO BRANCO  
2013

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ESTUDO DAS SOLUÇÕES EMPREGADAS EM CONSOLOS CURTOS MONOLÍTICOS DE PILARES PRÉ-MOLDADOS NA REGIÃO DE PATO BRANCO - PR**

**EDUARDO CEZAR LUIZETTO  
FABIANA GRANDO**

Aos 31 dias do mês de janeiro do ano de 2014, às 13h30min, na Sala J002 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 02-TCC/2014.

Orientador: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1da Banca: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dra. PAÔLA REGINA DALCANAL (DACOC / UTFPR-PB)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecemos a Deus pela fé e força durante esta jornada. Agradecemos a nossos pais pelo apoio, compreensão e respeito e aos nossos amigos fora da universidade que, mesmo sem saber nos apoiaram em momentos de baixa estima.

De forma muito profunda queremos agradecer aos professores, pelo grande ensinamento, seja ele técnico ou repassado através de experiências vividas. Vocês são exemplos para todos nós, alunos. Agradecer de forma especial ao Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias, pela orientação neste trabalho e pelas palavras de conforto nos momentos em que ficamos inseguros. Agradecer também, aos professores que fizeram parte da banca examinadora Prof. Msc. Jairo Trombetta e Prof. Dra. Paôla Regina Dalcanal, pela disposição e contribuição neste estudo.

E por fim queremos agradecer aos antigos colegas de aula, agora colegas de profissão e grandes amigos, pelos momentos de grande apoio, de cumplicidade, de aprendizado e de alegrias. Neste tempo em que passamos juntos, estudando e convivendo, muitos momentos foram marcantes e serão lembrados para sempre. Desejamos sucesso a todos.

O nosso agradecimentos a todas as pessoas, que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho, vocês fazem parte dele.

*“Deus é a lei e o legislador do Universo”*

Albert Einstein

## RESUMO

GRANDO, Fabiana, LUIZETTO, Eduardo C. Estudo das soluções empregadas em consolos curtos monolíticos de pilares pré-moldados na região da cidade de Pato Branco – PR. 2014. 132 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

Esta pesquisa apresenta um estudo de mercado que trata da execução de ligações consolo-pilar em estruturas de concreto pré-moldado na região de Pato Branco, através do acompanhamento da execução junto às empresas. A análise é realizada por meio de discussões das soluções levantadas sobre o método executivo aplicado, a disposição das armaduras do elemento e a conformidade com as normas vigentes que regem o tema. A partir desta análise, verificou-se que os métodos utilizados variam muito entre si e que as recomendações da norma não são obedecidas em 100% da amostra estudada, o motivo apontado é a incompatibilidade entre os equipamentos oferecidos e a forma correta de execução, segundo as normas, outro aspecto encontrado é a persistência do empirismo em tais métodos.

**Palavras-Chave:** Estruturas pré-moldadas. Ligações consolo-pilar. Consolo.

## ABSTRACT

GRANDO, Fabiana, LUIZETTO, Eduardo C. Study of the solutions used in short monolithic consoles of precast pillars in the region of Pato Branco city. 2014. 132 f. Final Paper - Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco - PR, 2014

This research shows a market study that treats the implementation of console-pillar connections in structures of precast concrete in the Pato Branco region, by the monitoring of the implementation at companies. The analysis is performed by discussions of solutions raised about the executive method applied, the positioning of the reinforcement of the element and the accordance with the existing standards governing the subject. Based on this analysis, it was found that the methods used vary too much and the recommendations of the standard are not obeyed in 100% of the studied sample, the reason given is the incompatibility between equipment provided and the correct execution form, according to the standards, another aspect found is the persistence of empiricism in such methods.

**Keywords:** Precast Structures, Console-pillar connections, Console.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fôrma de madeira .....	18
Figura 2 – Fôrma para viga tesoura para pórticos de barracões.....	19
Figura 3 – Fôrma para vigas e pilares com base fixa.....	19
Figura 4 – Fôrma para lajes tipo “ $\pi$ ”.....	20
Figura 5 – <i>Slump Test</i> – Ensaio de Consistência.....	23
Figura 6 – Ligações viga-pilar articulada.....	31
Figura 7 – Ligação viga-pilar rígida executada com soldas.....	31
Figura 8 – Ligações viga-pilar com cabos de protensão .....	32
Figura 9 – Modelo de ligação viga-pilar semirrígida por chapa soldada.....	32
Figura 10 – Posicionamento das dimensões (a) e (d) em um consolo típico .....	33
Figura 11 – (a) Disposição das bielas e tirantes de forma que os centros de gravidade coincidam com os nós das tensões. (b) Substituição das bielas por linhas tracejadas e dos tirantes por linhas contínuas. ....	35
Figura 12 – Modelo biela-tirante para consolo curto .....	35
Figura 13 – Trajetórias das tensões principais em consolo curto.....	36
Figura 14 – a) Posição Biela e Tirante, b) Armadura de costura.....	37
Figura 15 – Consolo típico.....	38
Figura 16 – Detalhamento de tirante ancorado por alça vertical. ....	39
Figura 17 – Detalhamento de tirante ancorado alça horizontal. ....	39
Figura 18 – Detalhamento de tirante ancorado por barra soldada. ....	40
Figura 19 – Detalhe de posicionamento de armadura de costura .....	41
Figura 20 – Detalhe de armadura no pilar para consolos.....	42
Figura 21 – Regiões de pressão localizada .....	43
Figura 22 – Modelo para cálculo de consolo curto .....	44
Figura 23 – Detalhamentos das armaduras do consolo .....	45
Figura 24 – Carga direta e indireta.....	48
Figura 25 – Organograma para o estudo .....	54
Figura 26 – Ilustração de uma peça enquadrada no modo 1 .....	55
Figura 27 – Ilustração de uma peça enquadrada no modo 2 .....	56
Figura 28 – Ilustração de uma peça enquadrada no modo 3 .....	56
Figura 29 – Ilustração de uma peça enquadrada no modo 4 .....	57
Figura 30 – Dispositivo para locação das barras do consolo e seu posicionamento junto à armadura do elemento.....	59
Figura 31 – Barras lisas posicionadas.....	59
Figura 32 – (a) Furos na peça após retiradas as barras lisas e (b) barras lisas removidas do interior da peça .....	60
Figura 33 – Armadura para o consolo executado segundo o modo 1 .....	61
Figura 34 – Concretagem de consolo segundo o modo 1.....	61
Figura 35 – (a) Barras de aço e recortes no pilar para execução do consolo no modo 2; (b) Barras “U” já armadas com estribos .....	62
Figura 36 – Mesa de corte e dobra .....	64
Figura 37 – Esquema de estribos empregados.....	64
Figura 38 – Modelo para o modo 1 .....	65
Figura 39 – Modelo do modo 2.....	65
Figura 40 – Modelo do modo 3.....	66
Figura 41 – Central dosadora de concreto .....	67
Figura 42 – (a) Fôrmas dos consolos. (b) Concretagem dos consolos .....	68

Figura 43 – Detalhamento das dimensões dos consolos padrão (a) modo 1 e (b) modos 2, 3 e 4.....	71
Figura 44 – Mesa de dobra .....	71
Figura 45 – Armadura do consolo após concretagem do pilar .....	72
Figura 46 – Modelo de armadura empregado no modo 1 .....	72
Figura 47 – Peça furada e barras utilizadas para confecção do consolo .....	73
Figura 48 – Barras de aço coladas com adesivo estrutural Sikadur 32®.....	74
Figura 49 – Armadura dos modos 2, 3 e 4 .....	74
Figura 50 – Modelo de armadura empregada no modo 2 .....	75
Figura 51 – Molde utilizado no modo 1 .....	77
Figura 52 – Concretagem do consolo em etapa distinta .....	77
Figura 53 – Utilização do bloco de EPS para produção do consolo (Empresa C).....	79
Figura 54 – Consolos armados e localizados na fôrma - modo 2 (Empresa C) .....	80
Figura 55 – Máquina de corte e dobra de armaduras (Empresa C) .....	81
Figura 56 – Armaduras executadas para fôrmas fixas com molde para pilar com três consolos (Empresa C).....	82
Figura 57 – Central de dosagem para produção de concreto .....	83
Figura 58 – Concretagem dos consolos.....	84
Figura 59 – Fôrmas de madeira .....	85
Figura 60 – Fôrmas metálicas .....	86
Figura 61 – Cavaletes inferiores.....	87
Figura 62 – Conjunto de cavaletes.....	87
Figura 63 – Conjunto de cavaletes, guias, lateral e leito .....	88
Figura 64 – Segunda lateral posicionada .....	89
Figura 65 – Detalhe do encunhamento entre guia e travessa na base lateral da fôrma .....	89
Figura 66 – Máquinas de corte e dobra de aço.....	91
Figura 67 – Bancada de montagem .....	91
Figura 68 – Armadura para consolo cubico.....	92
Figura 69 – Armadura para consolo misulado.....	93
Figura 70 – Central dosadora de concreto .....	93
Figura 71 – Concretagem de peça e consolos em única etapa.....	94
Figura 72 – Fôrmas com pontos de abertura para moldes de consolo .....	95
Figura 73 – Molde para consolo localizado na face lateral do pilar para concretagem .....	96
Figura 74 – Molde para consolo localizado na face superior do pilar.....	96
Figura 75 – Mesa para corte e dobra do aço.....	98
Figura 76 – Detalhamento da armadura do consolo .....	99
Figura 77 – Misturador para produção de concreto.....	100
Figura 78 – Concretagem dos consolos em simultâneo com o pilar .....	101
Figura 79 – Localização das fôrmas para instalação das armaduras e moldes dos consolos (Empresa E).....	109
Figura 80 – Tipo de armaduras no consolo recomendados pela NBR 9062:2006 ..	111
Figura 81 – Armadura executada pela empresa A.....	112
Figura 82 – Armadura executada para consolo padrão 2 da empresa B .....	114
Figura 83 – Armadura executada para consolo padrão 1 da empresa B .....	115
Figura 84 – Armaduras executadas para fôrmas fixas com molde para consolo (Empresa C).....	116
Figura 85 – Armadura padrão para consolos executada pela empresa D .....	117
Figura 86 – Armadura do consolo executada pela empresa E.....	119

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das fôrmas em função do material utilizado .....	17
Quadro 2 – Estágios de desenvolvimento da Construção Civil .....	27
Quadro 3 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa A.....	103
Quadro 4 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa B.....	105
Quadro 5 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa C.....	106
Quadro 6 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa D.....	107
Quadro 7 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa E.....	110
Quadro 8 – Armaduras recomendadas pela NBR 9062:2006 executadas pelas empresas visitadas.....	120

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	Delimitação do Tema .....	13
1.2	Objetivos .....	13
1.2.1	Objetivo geral .....	13
1.2.2	Objetivos específicos .....	14
1.3	Justificativa .....	14
2	FÔRMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO .....	16
2.1	Fôrmas de Madeira .....	17
2.2	Fôrmas Metálicas .....	18
3	CARACTERÍSTICAS EM RELAÇÃO AO CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO ARMADO .....	21
3.1	Concreto .....	21
3.1.1	Dosagem do concreto .....	21
3.1.2	Controle de qualidade do concreto .....	22
3.1.3	Características do concreto fresco .....	22
3.1.4	Características do concreto endurecido .....	24
3.1.5	Considerações sobre os ensaios de controle para a produção de concreto .....	25
3.2	Aço .....	26
4	PRÉ-MOLDADOS .....	27
4.1	Histórico e características dos pré-moldados .....	28
4.2	Ligações entre elementos pré-moldados .....	30
4.3	Consolos .....	32
4.4	CrITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DOS CONSOLOS .....	34
4.4.1	Modelo de bielas e tirantes .....	34
4.4.2	Comportamento estrutural dos consolos curtos .....	35
4.4.3	Prescrições NBR 6118:2003 – Projetos de estruturas de concreto .....	37
4.4.4	Prescrições NBR 9062:2006 – Projeto e execução de estruturas pré-moldadas .....	38
4.4.4.1	Pressão de contato em área reduzida .....	42
4.4.5	Roteiro de dimensionamento .....	44
4.4.5.1	Transmissão de esforços horizontais .....	45
4.4.5.2	Biela comprimida .....	46
4.4.5.3	Tirante .....	48
4.4.5.4	Armadura de costura .....	50
4.4.5.5	Armadura transversal .....	51
5	METODOLOGIA .....	52
6	PROCESSOS DE PRODUÇÃO UTILIZADOS PELAS EMPRESAS .....	55
6.1	EMPRESA A .....	57
6.1.1	Forma de execução dos consolos .....	58
6.1.2	Modos de execução dos consolos .....	60
6.1.3	Preparo e detalhamento das armaduras .....	63
6.1.4	Produção do concreto .....	66
6.1.5	Concretagem dos consolos .....	67
6.2	EMPRESA B .....	68
6.2.1	Forma de execução dos consolos .....	69
6.2.2	Modos de execução dos consolos .....	69
6.2.3	Preparo e detalhamento das armaduras .....	71

6.2.3.1	Sikadur 32 ® .....	75
6.2.4	Produção do concreto .....	76
6.2.5	Concretagem dos consolos .....	76
6.4	EMPRESA C.....	78
6.4.1	Forma de execução dos consolos.....	78
6.4.2	Modos de execução dos consolos .....	79
6.4.3	Preparo e detalhamento das armaduras .....	81
6.4.4	Produção do concreto .....	83
6.4.5	Concretagem dos consolos.....	84
6.4	EMPRESA D.....	84
6.4.1	Forma de execução dos consolos.....	85
6.4.1.1	Sistema de fôrmas de madeira .....	86
6.4.2	Modos de execução dos consolos .....	90
6.4.3	Preparo e detalhamento das armaduras .....	91
6.4.4	Produção do concreto .....	93
6.4.5	Concretagem dos consolos.....	94
6.5	EMPRESA E.....	94
6.5.1	Forma de execução dos consolos.....	95
6.5.2	Modos de execução dos consolos .....	97
6.5.3	Preparo e detalhamento das armaduras .....	98
6.5.4	Produção do concreto .....	100
6.5.5	Concretagem dos consolos.....	100
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	102
7.1	Análise em relação ao processo de execução.....	102
7.2	Análise em relação a segurança estrutural.....	110
7.2.1	Resumo em relação as empresas.....	120
8	CONCLUSÃO.....	121
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	123
	Anexo A – Ficha de visita sobre as empresas visitadas.....	126
	Anexo B – Modelo de dimensionamento para consolo segundo ABNT NBR 9062:2006 .....	128

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil corresponde ao setor com um dos índices mais elevados de desperdício e com processos de produção antigos e artesanais. Isso se dá pelo fato de a mão-de-obra ser determinante na qualidade do produto final e por muitas vezes, na realidade dos canteiros de obra, ser desqualificada e sem conhecimento. Devido a isto, o desenvolvimento de processos que se enquadrem no termo industrial e não mais artesanal, se torna cada vez mais uma necessidade do setor, aliado a um controle de qualidade que promova a melhoria contínua destes processos.

Uma das formas de industrializar a construção civil é a divisão do canteiro de obras, ou seja, onde a maior parte possível dos processos é realizada em local apto, que contribua para o aumento da qualidade e da produtividade do mesmo, seguido da instalação final do produto na obra. Com esta inovação os canteiros seriam mais compactos e organizados, além de qualidade do serviço.

Hoje em dia, diversas formas de divisão do canteiro de obras estão se tornando realidade como a produção da estrutura de concreto em fábricas e posterior instalação da mesma em obra (estruturas pré-fabricadas). Tal técnica, se bem aplicada, apresenta uma série de vantagens como a redução do desperdício de materiais durante a produção, o melhor controle de qualidade das peças estruturais, a rapidez na montagem da estrutura em obra e a mecanização e padronização do processo de produção. Porém tudo isso deve estar ligado a um intenso planejamento e controle, do contrário tais vantagens não serão verificadas.

A pesquisa na área de pré-moldados vem crescendo significativamente nos últimos anos em todos os seus aspectos, abrangendo também o estudo das suas ligações, estudando diversas formas de dimensionamento e execução das mesmas.

O estudo do comportamento estrutural e do dimensionamento de consolos teve um grande avanço nas décadas de 60 e 70, entretanto, ainda hoje não há um consenso sobre a melhor maneira de se dimensionar e detalhar consolos (TORRES, 1998), sendo um dos quesitos mais discutidos sobre o tema, o comportamento estrutural na região das ligações entre as peças, bem como a sua execução.

Este trabalho tem como foco de estudo uma das ligações existentes nas estruturas em concreto pré-moldado, trata-se da ligação entre pilar e consolo, na

qual ocorrem situações onde se torna necessária a utilização de uma metodologia diversificada para a execução do mesmo. Entre estas situações podem estar o uso de fôrma sem previsão para o consolo e a necessidade de se executar consolos em todas as direções do pilar.

Neste trabalho, serão analisadas algumas técnicas de execução de ligações com consolos e sua viabilidade, baseando-se em um estudo das práticas adotadas pelo mercado, seguido da análise de cada método utilizado no que se refere aos diferentes tipos de armadura e ao método executivo. Sendo a metodologia utilizada, uma comparação com o que é estabelecido na literatura (normas vigentes e referências sobre o tema).

## **1.1 Delimitação do Tema**

Estudo de mercado da execução de ligações consolo-pilar em estruturas de concreto pré-moldado na região de Pato Branco com discussões das soluções levantadas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Estudar as soluções empregadas por empresas de pré-moldados para o dimensionamento e execução de consolos de pilares pré-moldados na região de Pato Branco.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento das soluções adotadas por empresas da região de Pato Branco para execução e dimensionamento de consolos de pilares pré-moldados;
- Buscar os critérios de dimensionamento existentes para consolos de pilares pré-moldados;
- Efetuar uma avaliação crítica das soluções encontradas para os consolos de pilares pré-moldados, no que se refere aos aspectos de segurança estrutural (critérios de dimensionamento) e métodos de execução.

### 1.3 Justificativa

A industrialização dos processos dentro da construção civil é uma tendência que vem sendo difundida na maioria dos canteiros de obras. Neste processo de melhorias, engloba-se a indústria de pré-moldados de concreto armado por tratar-se de uma atividade onde o desperdício e a baixa produtividade são focos de estudos, buscando cada vez mais uma construção racional e padronizada.

Devido a este processo de industrialização da construção civil, a utilização de estruturas pré-moldadas em concreto armado vem sofrendo um crescente aumento em função da praticidade e rapidez de execução e redução do desperdício proveniente do seu sistema construtivo se comparado ao sistema convencional. Em virtude deste crescimento, surge a demanda de maiores estudos sobre a técnica para determinação da sua exequibilidade e verificação da existência de falhas ou problemas dentro do processo.

Esta linha de produção segue uma série de processos que à medida que vão sendo desenvolvidos e planejados passam a seguir um padrão, tal sistema, uma vez organizado, pode ser analisado de forma a verificar possíveis melhorias,

permitindo definir mudanças previamente planejadas, assim como sua aplicação no processo.

Um dos fatores determinantes para a criação de uma estrutura pré-fabricada de concreto armado é relativo às ligações entre as peças, sendo alvo de maior discussão e análise as ligações entre vigas e pilares, pois são estes elementos que definem o pórtico estrutural e seu comportamento. Na região de ligação entre vigas e pilares (consolos e dentes) é onde ocorrem as maiores concentrações de tensões nos elementos, e onde geralmente têm-se menores seções de concreto.

A produção industrial de consolos e dentes apresenta dificuldades devido à grande quantidade de armadura em um pequeno espaço. Por vezes ainda apresenta-se o empecilho da execução em etapa única, tornando-se necessária uma segunda concretagem para execução do consolo. Isto ocorre devido à forma de produção de elementos pré-moldados, os quais geralmente são executados em fôrmas metálicas, que em geral não possuem regulagem para a altura dos consolos (posicionamento do consolo relativo à altura e largura do pilar), solicitando técnicas diferenciadas para execução do mesmo.

Nestes casos cabem inúmeras maneiras para a execução desta ligação, sendo os processos para tal geralmente distintos e inconstantes, dificultando a uniformização e por vezes tornando inviável a metodologia. Devido à complexidade e variabilidade da execução justifica-se a necessidade de estudos mais aprofundados sobre estas ligações.

Para a realização destes estudos gera-se a necessidade de análises sobre cada método utilizado, abrangendo as armaduras e o método executivo. Sendo a metodologia utilizada, uma comparação entre tal método e o que é estabelecido na literatura.

## 2 FÔRMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Assahi (2003) diz que a tecnologia de fôrma, atualmente amplamente utilizada pela maioria das construtoras, teve início nos canteiros de obra nos fins da década de 60, tendo o Eng. Toshio Ueno como precursor, a partir dos conhecimentos da engenharia civil, complementado com as observações e experiências do dia-a-dia dos canteiros.

O material mais utilizado para este serviço era, e ainda é, a madeira e o objetivo principal de aprimorar o uso deste material, na época, era a otimização dos custos do processo, através da melhoria da produtividade, para gerar um menor consumo de materiais e um aumento do número de reaproveitamento dos mesmos.

El Debs (2000) diz que as fôrmas são de fundamental importância na execução de pré-moldados, pois são estes elementos que irão determinar a qualidade do processo executivo e do produto final. Ele ainda cita quais as características das fôrmas para que sejam consideradas de qualidade ou não:

- Estabilidade volumétrica (para garantir a precisão na dimensão dos elementos);
- Possibilidade de ser reutilizada diversas vezes sem gastos excessivos com manutenção;
- Ser de fácil manejo em relação ao posicionamento da armadura e outros elementos especiais;
- Apresentar pouca aderência com o concreto e fácil limpeza;
- Facilidade de desmoldagem;
- Estanqueidade para não haver perda de nata de cimento, que acarreta numa menor resistência e pior aspecto ao elemento;
- Versatilidade (utilizar a mesma fôrma para diversas seções transversais).

Em relação ao tipo de material empregado para as fôrmas, o Quadro 1 apresenta um comparativo entre os materiais em relação às características necessárias.

**Quadro 1 – Características das fôrmas em função do material utilizado**

<b>Características</b>	<b>Aço</b>	<b>Madeira</b>	<b>Concreto</b>	<b>Plástico</b>
<b>Constância Volumétrica</b>	Boa	Ruim	Boa	Boa
<b>Aderência</b>	Boa	Regular	Ruim	Boa
<b>Manuseio</b>	Boa	Boa	Ruim	Boa
<b>Possibilidade de transformação</b>	Boa	Boa	Ruim	Ruim

Fonte: El Debs (2000).

Um fator que deve ser levado em consideração, quando se define o sistema de fôrmas, é o custo correspondente a este processo em relação ao custo total do empreendimento, que hoje, tem um índice alto na maioria dos setores da construção civil. Em decorrência das características de cada material e do sistema a ser construído, o custo para a utilização de cada tipo de fôrma varia consideravelmente, sendo então, de suma importância a análise do processo para produto final de maior qualidade e menor custo.

Atualmente na área da engenharia civil como um todo, as fôrmas utilizadas são, em sua grande maioria, constituídas de madeira, porém, com a pré-moldagem, o processo passou a ter caráter industrial, permitindo a utilização de fôrmas com dimensões fixas ou que apresentem alguma regulagem, dando vez às fôrmas metálicas.

## **2.1 Fôrmas de Madeira**

As fôrmas de madeira são largamente utilizadas na construção civil atualmente e correspondem a um custo considerável em relação ao custo total de um processo. Devido a este fato, busca-se hoje otimizar o consumo de madeira por meio de metodologias que permitam o uso da mesma fôrma várias vezes, otimização do corte para diminuir os desperdícios e a utilização madeiras mais baratas, para que o custo e o trabalho para produção das fôrmas seja reduzido.

Azevedo (2008) fala que a uniformização das espécies e dimensões das madeiras usadas, bem como da nomenclatura e dimensões das peças que compõe as fôrmas e tabelas de aplicação imediata, dignas de confiança, seriam

extremamente vantajosas, não só por facilitarem a fiscalização do consumo de madeira, mas por permitirem o planejamento rápido de fôrmas com a resistência necessária.

Em se tratando de indústrias de pré-moldados, onde os processos são repetitivos e as dimensões padronizadas, não é comum a utilização de fôrmas de madeira, mas por vezes, algumas configurações tornam a versatilidade imediata das fôrmas de madeira necessárias, a menos que se adotem metodologias diferenciadas para que se resolva a situação. No item referente aos resultados este assunto será mais comentado.

A Figura 1 apresenta uma fôrma de madeira usual.



**Figura 1 – Fôrma de madeira**  
**Fonte: Estrutura, UFSC, 2013.**

## **2.2 Fôrmas Metálicas**

Em geral a produção de elementos pré-moldados dá-se em um canteiro de obras instalado em uma indústria, e para produção dos componentes da estrutura são utilizadas fôrmas, sendo estas metálicas em sua maioria. Tratando-se destas fôrmas, existem inúmeros modelos para a execução das mais variadas peças, contudo, estes modelos apresentam um bom desempenho apenas para aplicações corriqueiras as quais foram planejadas, possuindo pouca ou nenhuma aceitação de variações nos padrões da estrutura. Existem disponíveis no mercado, alguns modelos de fôrmas metálicas, que permitem alterações na seção dos pilares e/ou vigas, ainda com ajustes nas posições dos consolos quanto ao sua localização na largura do elemento, mas sem variabilidades de altura entre os patamares de implantação destes.

Dentre estes modelos mais comuns de fôrmas pode-se citar: braços de pórticos para barracões, pilares para barracões para suporte de ponte rolante, lajes tipo “π”, escadas, vigas, painéis de vedação, pilares com consolos reguláveis, etc. Alguns modelos de fôrmas são apresentados na Figura 2, Figura 3 e Figura 4.



**Figura 2 – Fôrma para viga tesoura para pórticos de barracões**  
Fonte: Catálogo de fôrmas Fôrma e Fôrma, 2013.



**Figura 3 – Fôrma para vigas e pilares com base fixa**  
Fonte: Catálogo de fôrmas: Fôrma e Fôrma, 2013.



**Figura 4 – Fôrma para lajes tipo “π”**  
**Fonte: Betocon fôrmas metálicas, 2013.**

Devidas às características das construções executadas em pré-moldados atualmente, onde se visam aspectos arquitetônicos mais ousados, gera-se a necessidade de elementos fora dos padrões de fôrmas convencionais, tais como pavimentos desnivelados (criam-se consolos em níveis diferentes e faces diferentes dos pilares), pavimentos com maiores “pé-direito”, elementos curvos como vigas para sacadas, dentre outros, as empresas buscam artifícios para fugir das limitações impostas pelas fôrmas metálicas. Estes aspectos serão apresentados e discutidos posteriormente juntamente à apresentação de resultados, baseando-se nos métodos encontrados nas empresas atuantes na região sudoeste do Paraná.

### **3 CARACTERÍSTICAS EM RELAÇÃO AO CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO ARMADO**

#### **3.1 Concreto**

O concreto é obtido a partir de uma mistura de agregados finos e graúdos, cimento e água, podendo ainda haver adição de algum componente específico para melhorar alguma de suas propriedades. Trata-se de um material frágil, ou seja, com pouco ou nenhum escoamento. A produção de consolos de pré-moldados tem particularidades em relação a produção do restante das peças desta linha, pois têm uma alta taxa de armadura em uma seção pequena, o que corresponde a alguma preocupação com relação à concretagem e à produção do concreto.

##### **3.1.1 Dosagem do concreto**

Segundo Recena (2011) por dosagem do concreto entende-se o processo através do qual são escolhidos os materiais, dentre os disponíveis a preço adequado e determinado o melhor proporcionamento entre cimento, agregados, aditivos, adições e água, ou seja, o traço. Este traço é desenvolvido com o objetivo de obter-se um material que atenda a determinados requisitos físicos, químicos e mecânicos, ao menor custo possível.

A partir de diversos métodos pode-se realizar uma dosagem de concreto, tendo em mãos alguns parâmetros e a metodologia adotada. O resultado final pode ser um traço em massa, onde os componentes são apresentados em unidades de massa ou um traço em volume, onde cada material tem sua proporção em unidade de volume. Em obra, o mais simples traço a ser utilizado tem proporções em volume, sendo assim o mais usual hoje em dia. O fato é que o traço em massa é mais preciso, pois não sofre influência do índice de vazios (espaços existentes decorrente do encaixe das partículas) e é pouco afetado pela umidade dos agregados (quantidade de água na amostra).

A NBR 12655:1996 – Concreto – Preparo, controle e recebimento, fala que a composição de cada concreto de classe C15 ou superior a ser utilizado na obra deve ser definida, em dosagem racional e experimental, com a devida antecedência em relação ao início da concretagem da obra. O estudo de dosagem deve ser realizado com os mesmos materiais e condições semelhantes àsquelas da obra, tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução.

Já para o concreto da classe C10 ou menor, com consumo mínimo de 300 kg de cimento por metro cúbico, o traço de concreto pode ser estabelecido empiricamente.

### **3.1.2 Controle de qualidade do concreto**

Recena (2011) fala que a qualidade do concreto começa a ser definida ainda na fase de dosagem, a partir da escolha dos materiais, estabelecimento de requisitos específicos relacionados com durabilidade e trabalhabilidade, bem como consumo mínimo de cimento, relação água/cimento máxima, além de definições quanto ao emprego de aditivos e/ou adições. Depois disso definido, o controle é baseado na qualidade de seus insumos, tanto nas características dos mesmos, como na forma de armazenamento e uso. Qualquer alteração na qualidade dos insumos repercute sempre na trabalhabilidade do concreto ou diretamente em sua resistência mecânica.

Além destes controles prévios para posterior produção do concreto, são realizados ensaios de controle do concreto já produzido, como o de consistência e de resistência, citados no item 3.1.5.

### **3.1.3 Características do concreto fresco**

Carvalho (2013) diz que o objetivo do preparo do concreto estrutural é obter um material predominantemente sólido com grande resistência e com poucos espaços vazios.

Podem-se analisar as características do concreto dividindo-se este em estado fresco e endurecido. Das propriedades do concreto fresco cabe-se destacar a consistência, trabalhabilidade e homogeneidade. Estas são características que interferem diretamente no desenvolvimento do traço e na resistência do concreto.

**Consistência:** É a capacidade do concreto de deformar-se em seu estado fresco. O principal ensaio para determinação desta característica é o *Slump Test* (apresentado na Figura 5), que consiste no preenchimento do cone em 3 partes sendo que em cada parte aplicam-se 25 golpes, após o preenchimento, faz-se a arrasadura e remove-se o cone, medindo-se a diferença de cota entre o cone e o amontoado de concreto. Este valor deve estar dentro do limite especificado em decorrência do uso do material.

Neste ensaio é possível se analisar a consistência e a homogeneidade da mistura sendo que, quanto maior for o *slump* de um determinado concreto menor será sua consistência. Desta forma, um concreto com *slump* “alto” é em geral fácil de ser lançado e adensado, caracterizando-se uma boa trabalhabilidade.

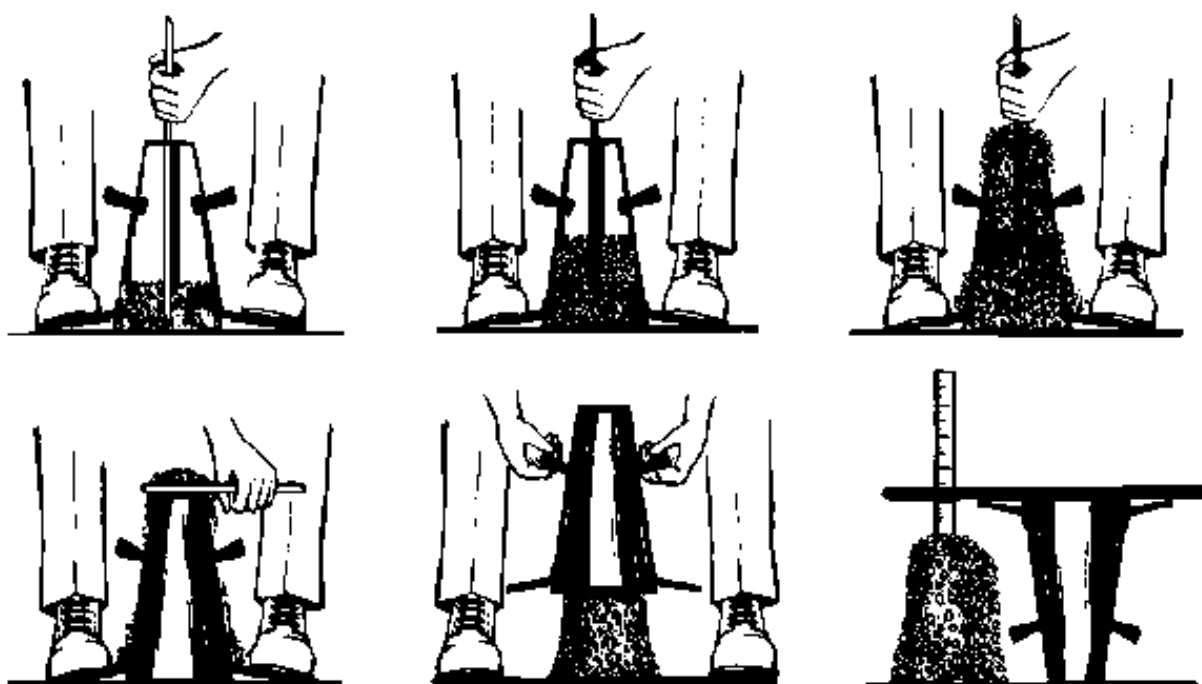


Figura 5 – *Slump Test* – Ensaio de Consistência  
Fonte: ISABELA, 2010.

**Homogeneidade:** Esta característica no concreto trata da uniformidade da distribuição dos agregados graúdo dentro da massa. Quanto mais regular esta dispersão dos grãos e maior a ligação entre eles e a pasta, melhor a qualidade do

concreto, diminuindo a permeabilidade e conseqüentemente aumentando a proteção da armadura (CARVALHO, 2013).

A homogeneidade do concreto pode ser melhorada a partir de uma mistura, transporte e lançamento do material com maiores cuidados para que não haja segregação do mesmo.

**Trabalhabilidade:** Esta característica do concreto está intimamente ligada à consistência do mesmo, pois a definição de um limite de consistência é decorrente da necessidade de uma maior ou menor facilidade de manuseio do concreto. Quanto maior o *slump*, menor a consistência e vice-versa.

A trabalhabilidade consiste basicamente na maneira com que se efetua o adensamento do concreto, com maior ou menor necessidade da aplicação deste serviço. Os fatores que interferem nesta característica são a granulometria dos agregados, o fator água/cimento e a presença de aditivos.

### 3.1.4 Características do concreto endurecido

Para o concreto endurecido, Carvalho (2013) diz que as características de interesse são as mecânicas, sendo a mais importante, a resistência à compressão. Ainda não há uma lei única para se determinar a resistência do concreto às demais solicitações (devidas a outros tipos de esforços), não se podendo deduzir o valor resistente para um esforço solicitante, baseando-se na resistência de outro tipo de esforço. Porém, atualmente, para o concreto armado, considera-se razoável que a resistência do concreto para outras solicitações seja função da resistência à compressão.

Carvalho (2013) diz ainda que a resistência do concreto também é função do tempo de duração da solicitação, sendo a situação real do concreto a de estar submetido a um carregamento constante, o que, geralmente, não é ensaiado, criando a necessidade de maiores índices de segurança, o autor fala mais sobre esta propriedade, como apresentado a seguir.

**Resistência à compressão:** é a principal característica do concreto, que é obtida a partir do ensaio de corpos de prova submetidos à compressão centrada.

Vários fatores influenciam nesta característica, sendo os principais a proporção de agregados, a relação água/cimento (traço) e a idade do concreto.

O ensaio consiste em moldar um corpo de prova de padrão brasileiro, ou seja, cilíndrico, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A idade de referência é de 28 dias. A moldagem é feita com duas camadas de 12 golpes cada camada, seguida de arrasadura e marcação para encaminhamento para tanque de cura e posterior rompimento 28 dias após a moldagem (NBR 5738:2003).

**Resistência característica do concreto:** a partir de um determinado número de corpos de prova ensaiados de um mesmo concreto, os valores obtidos diferem entre uns e outros. Para que se defina um valor confiável para a resistência desta amostra, adota-se a resistência característica, também conhecida como  $f_{ck}$ , esta resistência trata-se de um valor que tem certa probabilidade de ser ultrapassado, a favor da segurança. Para isso, admite-se a resistência que tem 5% de chance de ser ultrapassada em toda a amostra.

### 3.1.5 Considerações sobre os ensaios de controle para a produção de concreto

Os ensaios necessários para que se diga que é realizado o controle da qualidade na produção do concreto, segundo a NBR 12655:1996 – Concreto – Preparo, controle e recebimento são:

**Ensaio de consistência:** Devem ser realizados ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*), ou pelo espalhamento do tronco de cone. Para o concreto preparado pelo executante da obra devem ser realizados ensaios de consistência sempre que ocorrerem alterações na umidade dos agregados e nas seguintes situações:

- a) na primeira amassada do dia;
- b) ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2 h;
- c) na troca dos operadores;
- d) cada vez que forem moldados corpos-de-prova.

**Ensaios de resistência à compressão:** Os resultados dos ensaios de resistência, conforme a NBR 5738:2003, realizados em amostras formadas segundo

norma, devem servir para a aceitação ou rejeição dos lotes. Para a formação de lotes, a amostragem do concreto para ensaios de resistência à compressão deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes que atendam a todos os limites estabelecidos pela norma. De cada lote é retirada uma amostra, com número de exemplares já determinados.

### **3.2 Aço**

Atualmente são utilizados em maior escala nas estruturas de concreto armado duas classes de aço, o aço CA-50 e o aço CA-60. O aço CA-50 constitui-se de barras nervuradas com bitolas 6,3 mm até 32 mm de diâmetro, possuindo resistência característica de escoamento à tração, que também é nomeada pela sigla  $f_{yk}$ , de 500 MPa. Já o aço CA-60 possui bitolas que vão de 4,2 mm até 9,5 mm de diâmetro e  $f_{yk}$  igual a 600 MPa.

Segundo Carvalho (2013) a resistência característica de escoamento do aço à tração ( $f_{yk}$ ) é a máxima tensão que a barra ou o fio devem suportar, pois, a partir desta o aço sofre deformações permanentes, não havendo o retorno da barra ao seu tamanho inicial, como ocorre quando a tensão aplicada à barra é menor que o  $f_{yk}$ .

O dimensionamento das estruturas de concreto armado pode ser desenvolvido a partir do uso de softwares para este fim, apontando as bitolas das barras, o comprimento das mesmas e a forma de dobra. Para meios executivos, existem outros softwares que são usados para o melhor aproveitamento do comprimento destas barras, reduzindo o desperdício ao máximo possível e otimizando o consumo de aço. Existem ainda para auxílio da dobra do aço, máquinas que fazem esta dobra de forma automática, acelerando o processo de produção. Conforme o poder aquisitivo das empresas para adotarem estes meios de otimização do processo, mais eficiente se torna a produção e cada vez mais, tais melhorias se tornam comuns nas fábricas que lidam com corte e dobra de aço.

## 4 PRÉ-MOLDADOS

O concreto pré-moldado vem, cada vez mais, tomando espaço no mercado brasileiro. Este método é regido por duas diretrizes, a industrialização da construção e a racionalização da execução de estruturas de concreto (EL DEBS, 2000).

Utilizar o concreto pré-moldado pode resultar em uma redução de custo de materiais da estrutura de concreto armado, porém, a parte em que esta redução é mais significativa é no que diz respeito a fôrmas e ao cimbramento da estrutura, sendo que estes elementos não são necessários na estrutura pré-moldada, relevando o fato de que esta estrutura vem para racionalizar os processos executivos envolvidos.

A industrialização da construção, segundo Bruna (1976 apud Serra, Ferreira e Pigozzo, 2005), está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, os quais devem ser entendidos, analisando de forma mais ampla as relações de produção envolvidas e a mecanização dos meios de produção.

O Quadro 2 apresenta as características dos três estágios de desenvolvimento da construção, a partir deste pode-se compreender melhor do que se trata cada estágio.

**Quadro 2 – Estágios de desenvolvimento da Construção Civil**

	<b>Manufatura</b>	<b>Mecanização</b>	<b>Industrialização</b>
<b>Planejamento</b>	Improvisação	Projeto	Planificação
<b>Unidade Produtiva</b>	Individual	Empresa	Fábrica
<b>Produção</b>	Unitária	Unitária com máquinas	Massiva
<b>Recursos/Investimentos</b>	Ferramentas manuais	Investimento em equipamentos	Investimento em máquinas

Fonte: El Debs, 2000.

A partir destas características pode-se definir se um processo caminha para sua industrialização ou não. Levando-se em conta a unidade produtiva, os investimentos e, até mesmo, a produção, o concreto pré-moldado encaixa-se no setor industrial, ainda que sua produção não seja completamente padronizada e realizada de forma massiva se comparada à outra indústria de outro setor.

## 4.1 Histórico e características dos pré-moldados

A partir do que foi tratado no item anterior, cabem algumas considerações sobre a evolução do concreto pré-moldado, parte que integra a industrialização da construção.

Segundo Serra, Ferreira e Pigozzo (2005):

O sistema pré-moldado se identifica primeiramente com a história da industrialização, que por sua vez está relacionada com o período histórico da mecanização, ou seja, com a evolução das ferramentas e máquinas para produção de bens. De forma gradativa as atividades exercidas pelo homem com auxílio da máquina foram sendo substituídas por mecanismos, como aparelhos mecânicos ou eletrônicos, ou genericamente por automatismos.

El Debs (2000) diz que o primeiro emprego da pré-moldagem foi, provavelmente, o cassino de Biarritz, na França, em 1891, na qual as vigas foram pré-moldadas. Depois disso, até o final da Segunda Guerra Mundial (1945), o desenvolvimento deste processo acompanhou o desenvolvimento do concreto armado e protendido.

O autor fala ainda que a utilização desta técnica na Europa e nos Estados Unidos vinha avançando, mas sem grande euforia no pós-guerra. E, embora haja aplicação da pré-moldagem em qualquer campo de construção no Brasil, ela ainda é limitada. Sua aplicação tem sido mais intensa na construção de galpões e em certos componentes como elementos de lajes, estacas, postes e tubos circulares.

Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) considera a utilização dos pré-moldados de concreto dividida nas três seguintes etapas:

- De 1950 a 1970 – período em que a falta de edificações ocasionada pela devastação da guerra, gerou a necessidade de se construir diversos edifícios, tanto habitacionais quanto escolares, hospitais e industriais. Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-moldados.
- De 1970 a 1980 – Período em que ocorreram acidentes com alguns edifícios construídos com grandes painéis pré-moldados. 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-moldados.

➤ Pós 1980 – Esta etapa caracterizou-se, em primeiro lugar, pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. Em segundo lugar, pela consolidação de uma pré-fabricação à base de componentes compatíveis, de origens diversas.

Já no Brasil, que não sofreu com a Segunda Guerra Mundial em 1945, não houve a necessidade da construção em larga escala, como ocorrido na Europa. Desta forma, Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) afirmam que a primeira grande obra onde se utilizou elementos pré-moldados no Brasil, refere-se ao hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro.

El Debs (2000) apresenta a seguinte definição para a pré-moldagem:

A pré-moldagem é caracterizada como um processo de construção em que a obra, ou parte dela, é moldada fora de seu local de utilização definitivo. Frequentemente a pré-moldagem é relacionada a outros dois termos: a pré-fabricação e a industrialização da construção.

A partir de El Debs (2000) Algumas vantagens e desvantagens da pré-moldagem são apresentados a seguir.

Como vantagens pode-se citar que, como a estrutura é fabricada fora do local de utilização definitivo, o processo é mais industrializado, em local planejado, com processos padronizados e conseqüentemente mais rápidos. Em relação ao momento em que a peça chega à obra, a vantagem está na economia de cimbramento, já que as peças estão em condições de funcionamento pleno.

Quando a central de produção tem condições de produzir peças com características diversas quanto à seção, protensão, controle de qualidade, mão de obra, entre outros, a economia se torna alta e a qualidade do produto mais ainda, pois a seção adotada pode ser a mais econômica, o comportamento da peça pode ser estimado mais precisamente e a produtividade da empresa crescerá. Outra vantagem da pré-moldagem está em ambientes de clima frio, em que não é possível se utilizar de concreto moldado no local, sendo o concreto pré-moldado a solução para isso.

Em relação às desvantagens, as complicações da utilização da pré-moldagem consistem em transporte das peças da fábrica até o local de instalação e

o manuseio destas peças até o local definitivo, gerando a necessidade de utilização de equipamentos especiais.

Outra questão em relação aos pontos negativos da utilização de concreto pré-moldado e também quanto à instalação das peças no local definitivo, consiste na execução da ligação, que, quando executada de forma mais simples, não apresenta o comportamento mais efetivo e quando é executada uma ligação rígida estas se mostram mais caras e mais trabalhosas.

## **4.2 Ligações entre elementos pré-moldados**

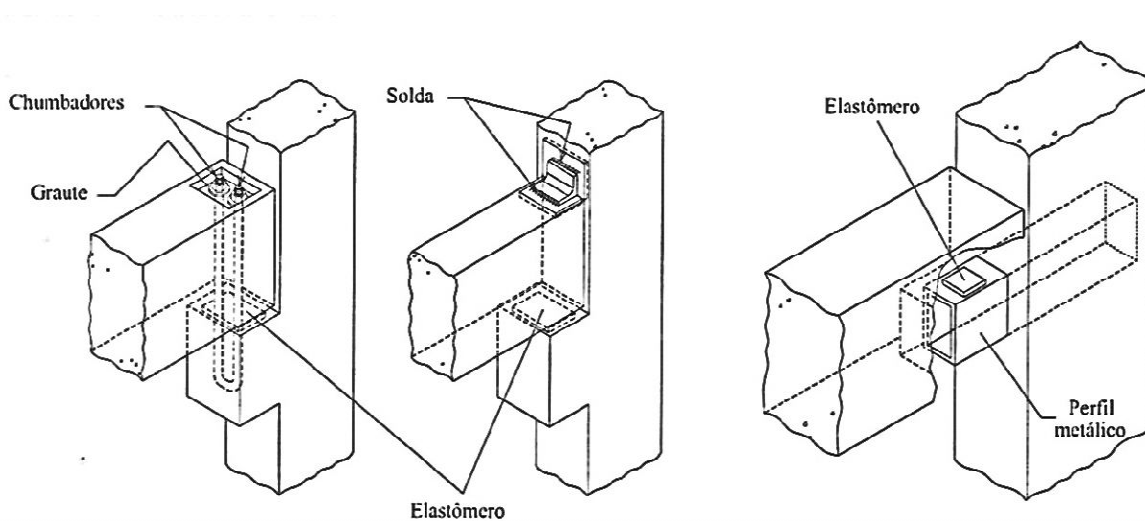
As estruturas de concreto pré-moldado se caracterizam por apresentar facilidade de execução de seus elementos, a complicação do processo está em realizar as ligações entre eles. Este detalhamento constitui a parte mais importante no projeto deste tipo de estrutura, tanto da execução da ligação, quanto do seu comportamento estrutural (EL DEBS, 2000).

Tipicamente, a ligação entre pilar e viga em obra de concreto pré-moldado é realizada simplesmente apoiando a viga diretamente sobre um consolo com a utilização de uma almofada intermediária de elastômero para efeito de regularização das superfícies das duas peças. Este apoio direto é responsável pela transmissão de forças verticais de compressão. A utilização de pinos verticais cruzando os elementos ligados possibilita a transmissão de forças horizontais e, eventualmente, também a transmissão de momentos de torção pela viga.

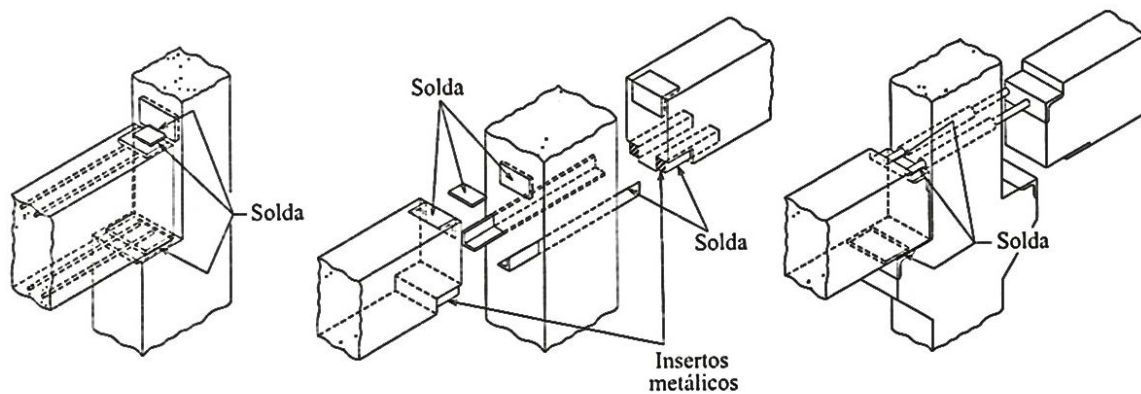
As ligações executadas de forma mais simples, ligações executadas com apoios simples (com ou sem neoprene) com grouts de ligação e ligações aparafusadas, geralmente, não transmitem momento fletor. Quando as ligações são executadas de modo a reproduzir o comportamento das estruturas de concreto moldado no local, ocorrendo a transmissão de momento fletor, esta execução requer mais trabalho, e acarreta maior custo, reduzindo as vantagens da construção pré-moldada. Existe ainda uma forma intermediária em que são utilizados alguns meios para enrijecer a ligação, mas não a ponto de transmitir totalmente os momentos fletores.

Estas formas de ligações se classificam quando a sua vinculação em:

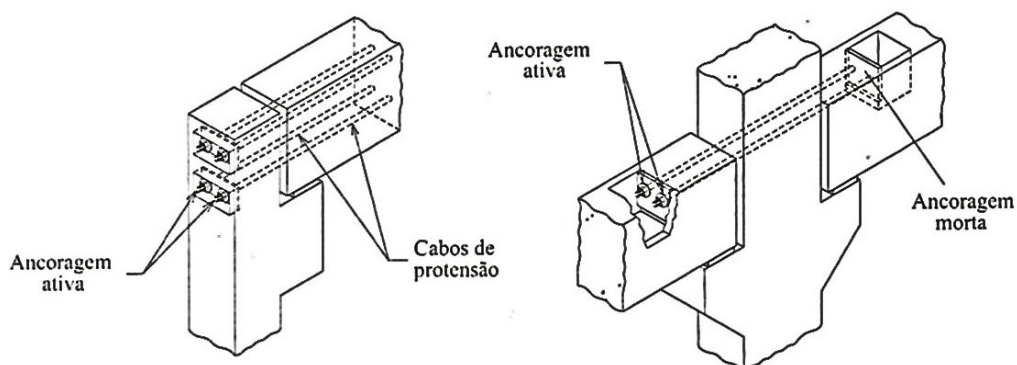
- Ligações articuladas: ligação simples, não transmite momento fletor, sendo um exemplo deste tipo de ligação mostrado na Figura 6;
- Ligação rígida: transmite momento fletor, as Figura 7 e Figura 8 apresentam alguns exemplos;
- Ligação semirrígida: transmite parcialmente os momentos fletores, exemplificada pela Figura 9.



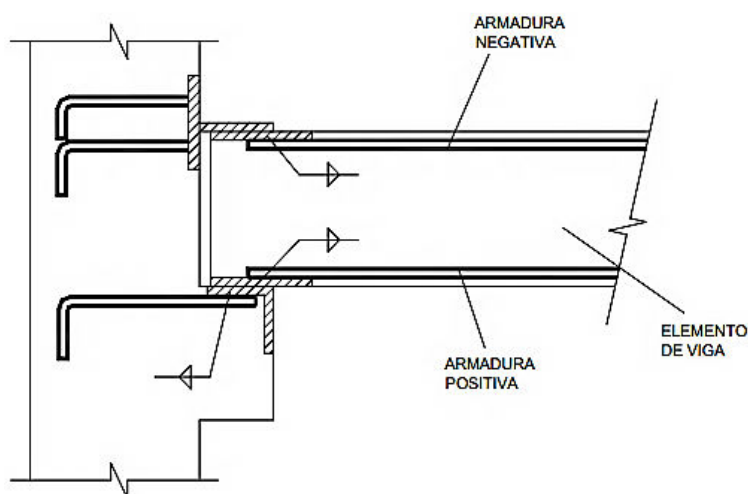
**Figura 6 – Ligações viga-pilar articulada**  
 Fonte: El Debs, 2000.



**Figura 7 – Ligação viga-pilar rígida executada com soldas**  
 Fonte: El Debs, 2000.



**Figura 8 – Ligações viga-pilar com cabos de protensão**  
 Fonte: El Debs, 2000.



**Figura 9 – Modelo de ligação viga-pilar semirrígida por chapa soldada**  
 Fonte: Ferreira, M. A., 1999.

### 4.3 Consolos

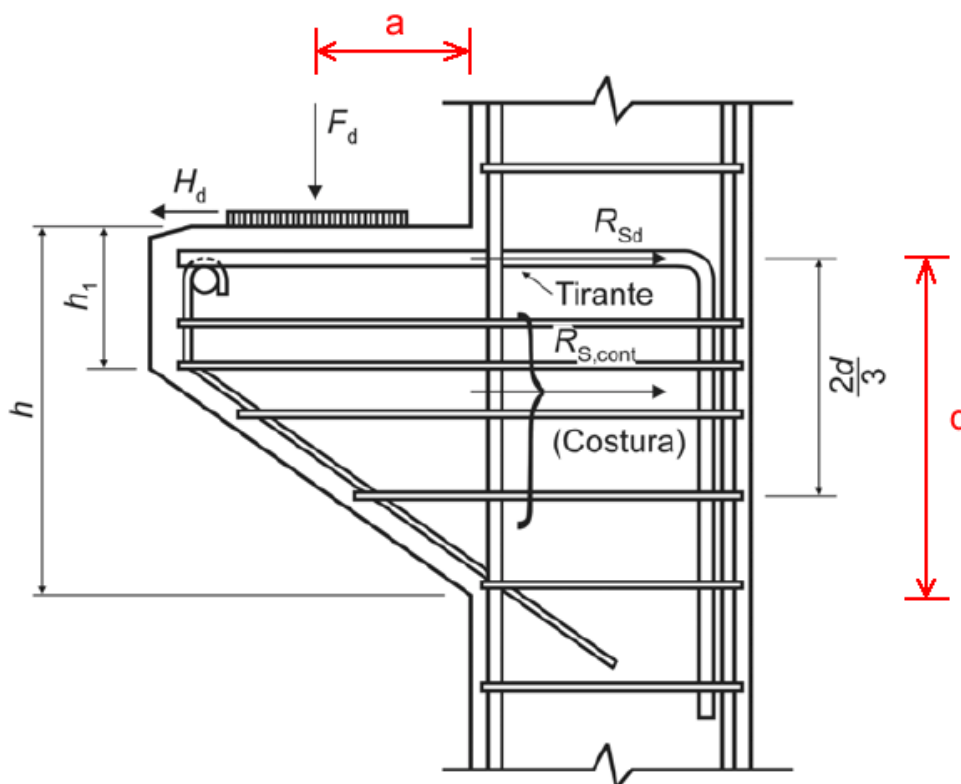
Os consolos são elementos estruturais que se projetam de pilares ou paredes para servir de apoio para outras partes da estrutura ou para cargas de utilização (EL DEBS, 2000).

Segundo Naegeli (1997) consolos são elementos estruturais prismáticos utilizados frequentemente em estruturas de concreto armado, servindo de apoio para outros elementos estruturais ou para equipamentos pesados. Os consolos se destacam entre os elementos mais usuais de ligação em estruturas pré-fabricadas.

Nestes elementos há transmissão direta da carga, neles aplicada, para o pilar que lhes apoia, não sendo para eles, válidos os critérios de dimensionamento

de vigas esbeltas. Eles funcionam como elementos em balanço, projetados de pilares e vigas, para apoio de outros elementos. O seu comportamento estrutural é tratado de maneira diferente das vigas, pois para o seu balanço, bastante curto, não se aplica a teoria clássica da flexão.

Segundo a NBR 6118:2003, são considerados consolos os elementos em balanço nos quais a distância ( $a$ ) da carga aplicada à face do apoio é menor ou igual à altura útil ( $d$ ) do consolo, como é mostrado na Figura 10.



**Figura 10 – Posicionamento das dimensões ( $a$ ) e ( $d$ ) em um consolo típico**  
 Fonte: NBR 9062:2006.

Segundo a NBR 9062:2006, para cada tipo de consolo, dependendo de sua classificação em função da razão entre a distância de aplicação da força à face do pilar ( $a$ ) e a altura útil do consolo ( $d$ ), deve-se adotar uma forma de dimensionamento:

➤ Para  $a/d > 1$ , trata-se o elemento como uma viga em balanço, aplicando-se o disposto na NBR 6118 para flexão e força cortante.

➤ Para  $0,5 < a/d \leq 1$ , são ditos consolos curtos e o processo de dimensionamento indicado pela norma é o modelo matemático de bielas e tirantes.

➤ Para  $a/d < 0,5$ , onde o elemento é dito consolo muito curto: o dimensionamento se faz supondo a ruptura ao longo do plano de ligação do consolo com seu suporte (modelo de atrito-cisalhamento).

#### **4.4 Critérios de Dimensionamento dos Consolos**

Como dito anteriormente, o dimensionamento dos consolos é baseado em métodos que são diferentes do dimensionamento de uma viga curta em balanço, neste trabalho será estudado o consolo curto, devido as dimensões usuais de mercado, ou seja, será apresentado o modelo de bielas e tirantes, sendo os critérios de dimensionamento e os critérios construtivos extraídos das normas NBR 6118:2003 e NBR 9062:2006. A seguir o modelo e os critérios citados serão discutidos.

##### **4.4.1 Modelo de bielas e tirantes**

Segundo El Debs (2000) o modelo de biela e tirante, também denominado de treliça, consiste em idealizar o comportamento do concreto, nos trechos de descontinuidade, através de bielas e tirantes, com suas respectivas posições escolhidas a partir do fluxo de tensões na região. Os elementos são interconectados nos nós, resultando na formação de uma treliça idealizada. Esse modelo é o mais empregado para o cálculo de consolos curtos.

Bongatti (2008) diz que esse método nada mais é que uma representação discreta dos campos de tensão nos elementos estruturais, sendo que as bielas representam os campos principais de compressão e os tirantes os campos principais de tração, que podem ser absorvidos por determinada área de armadura, através de uma ou várias camadas e em função da tensão de escoamento do aço.

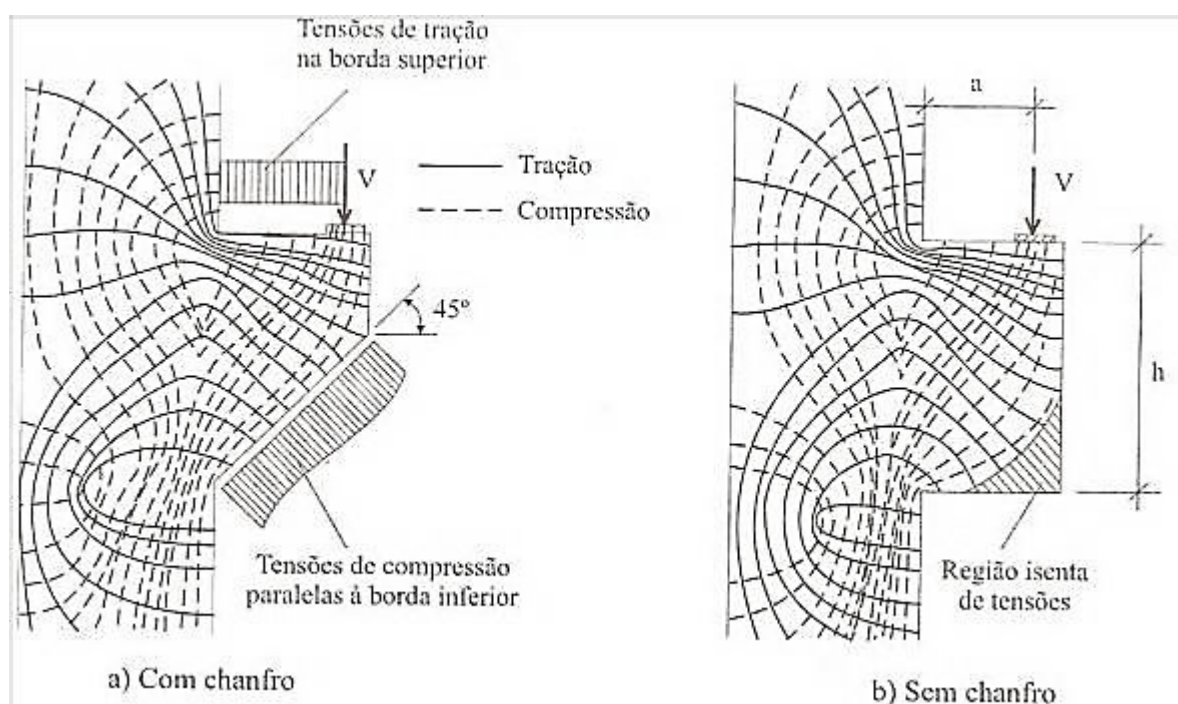
Quanto ao posicionamento dos elementos, é necessário que a direção das bielas e tirantes coincida com a direção das tensões médias de compressão e



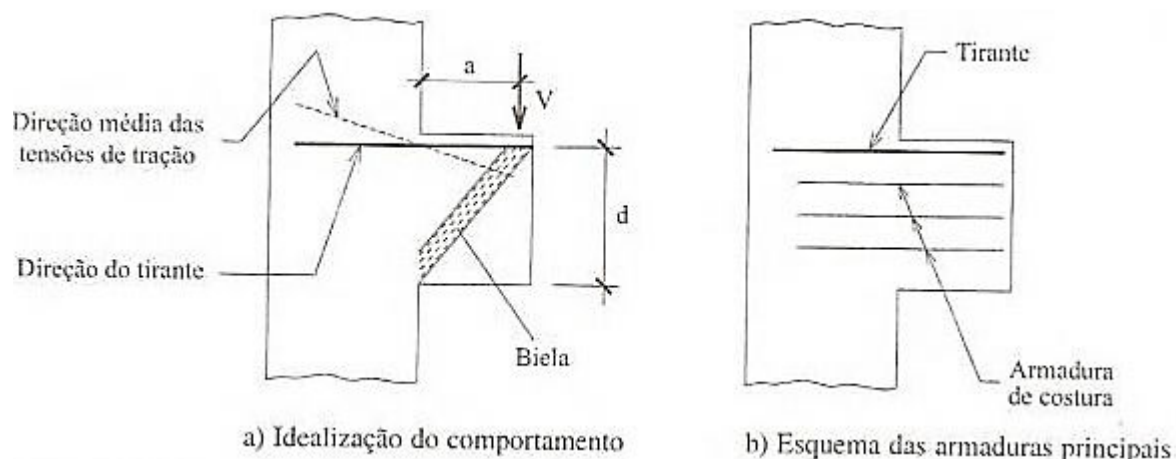
Com base em ensaios experimentais, Franz e Niedenhoff (1963 apud Leonhardt e Mönning, 1978) chegaram as seguintes conclusões:

- A parte inferior do consolo retangular não é praticamente solicitada, de forma que o chanfro nesta parte do consolo não influi na resistência;
- As tensões de tração atuam de forma horizontal com tensão constante desde o ponto de aplicação da força até a seção na face do pilar, indicando a posição da armadura de tração, ou seja, do tirante;
- As tensões de compressão partem do ponto onde a força é aplicada e vão até a base do consolo, sugerindo a formação da biela;
- Os estribos verticais, normalmente usados em vigas, não funcionam e as resultantes das demais tensões de tração podem ser absorvidas por estribos horizontais, também chamados de armadura de costura.

Estas são demonstradas a seguir nas Figuras 13 e 14.



**Figura 13 – Trajetórias das tensões principais em consolo curto**  
**Fonte: Leonhardt e Mönning, 1978.**



**Figura 14 – a) Posição Biela e Tirante, b) Armadura de costura**  
**Fonte: El Debs, 2000.**

A partir da Figura 13, pode-se perceber que, devido a direção média das tensões de tração, o tirante teria melhor comportamento se tivesse uma leve inclinação, porém devido aos meios construtivos, a barra horizontal oferece melhores resultados.

#### **4.4.3 Prescrições NBR 6118:2003 – Projetos de estruturas de concreto**

Antes de tomar-se o dimensionamento propriamente dito, há algumas considerações a serem observadas segundo a NBR 6118:2003:

- a) Ancoragem adequada do tirante, abraçando a biela logo abaixo do aparelho de apoio;
- b) A taxa de armadura do tirante a ser considerada no cálculo deve ser limitada superiormente, de modo a garantir o escoamento, antes da ruptura do concreto;
- c) Verificação da resistência à compressão da biela ou do cisalhamento equivalente na face do pilar, garantindo com segurança adequada que a ruptura frágil, pela biela, esteja afastada. Para a verificação da biela pode ser considerada a abertura de carga ( $F_d$ ) sob a placa de apoio, conforme visto na Figura 12, limitada a uma inclinação máxima de 1:2 em relação à vertical, nos pontos extremos A e C (ou E) da área de apoio ampliada;

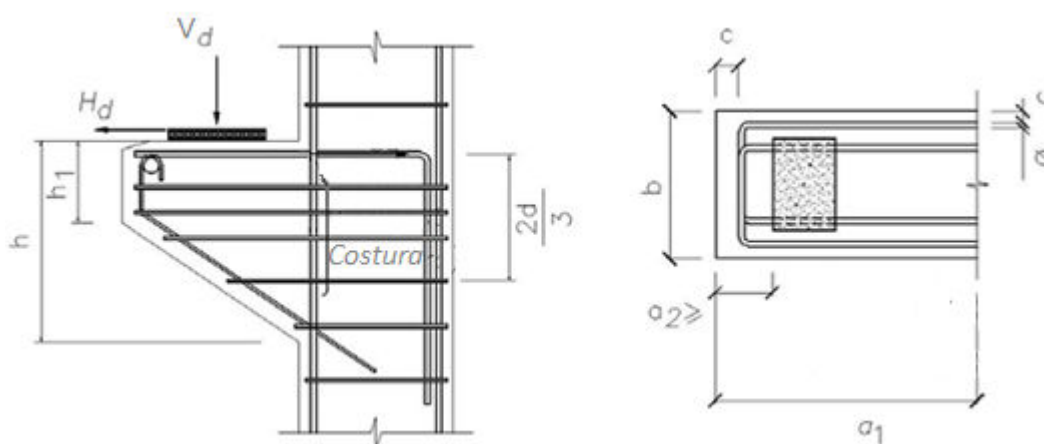
d) É fundamental a consideração de esforços horizontais no dimensionamento dos consolos e o seu conseqüente efeito desfavorável na inclinação da resultante  $F_d$  (ver Figura 12). A NBR 9062:2006 estabelece valores mínimos desses esforços;

e) No caso geral em que existem cargas horizontais, transversais ou excentricidade da carga vertical na largura do consolo, diz-se que existe “torção” do consolo; o comportamento estrutural que se observa, nesse caso, é o de um modelo biela-tirante fora do plano médio do consolo, usualmente com biela e tirante mais estreitos, ou seja, não se forma a treliça espacial observada na torção de vigas, uma vez que falta comprimento suficiente para tal.

#### 4.4.4 Prescrições NBR 9062:2006 – Projeto e execução de estruturas pré-moldadas

A NBR 9062:2006 dispõe as seguintes considerações para o dimensionamento dos consolos.

Os valores das constantes apresentados nos itens a seguir são dispostos conforme a Figura 15.



**Figura 15 – Consolo típico**  
Fonte: NBR 9062:2006.

a) Os valores do comprimento do consolo ( $a_1$ ) e a largura ( $b$ ) são valores especificados por fatores construtivos.

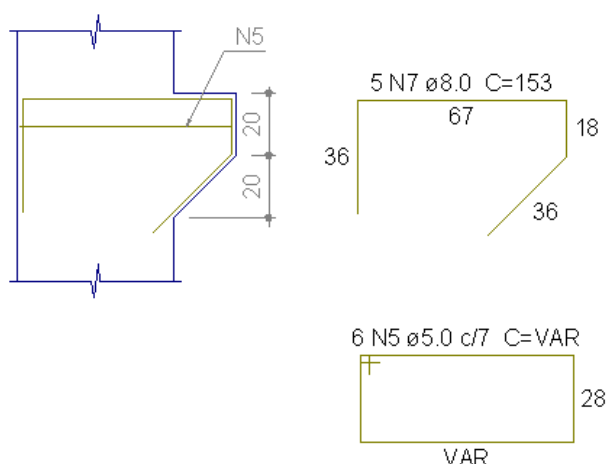
b) A altura da face externa do consolo ( $h_1$ ) não deve ser menor que a metade da altura do consolo no engastamento, deduzido o afastamento da almofada de apoio à borda externa, como mostrado em (1).

$$h_1 \geq \frac{h}{2} - a_2 \quad (1)$$

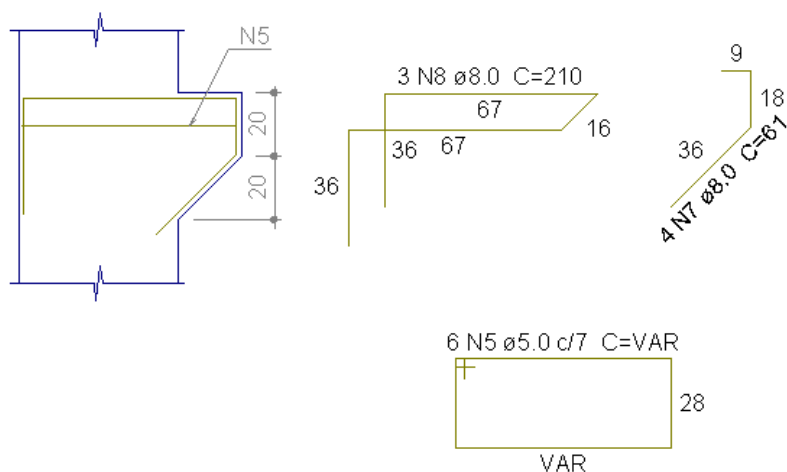
c) A distância  $a_2$ , da face externa da almofada de apoio à face externa do consolo deve obedecer aos valores mínimos expressos em (2).

$$a_2 \geq \begin{cases} c + \varnothing & \text{para o tirante ancorado por barra transversal soldada de mesmo diâmetro} \\ c + 3,5\varnothing & \text{para o tirante ancorado por alças horizontais com } \varnothing < 20\text{mm} \\ c + 5\varnothing & \text{para o tirante ancorado por alças horizontais com } \varnothing \geq 20\text{mm} \\ c + 3,5\varnothing + 2\text{cm} & \text{para o tirante ancorado por alças verticais com } \varnothing \leq 16\text{mm} \end{cases} \quad (2)$$

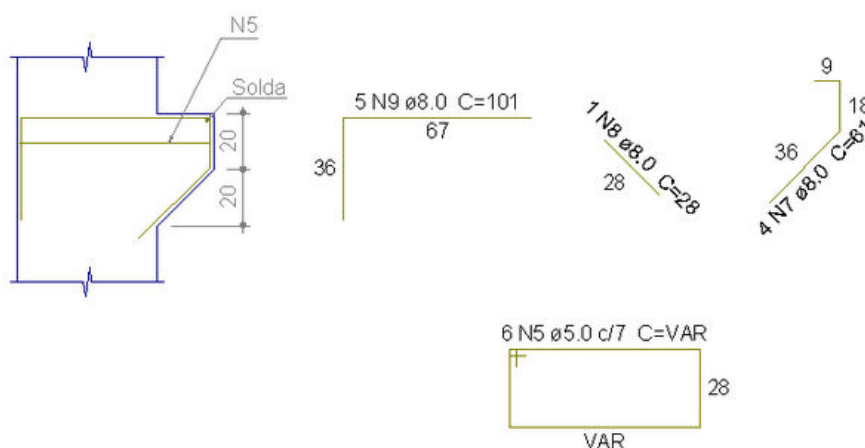
Os esquemas de ancoragem para o calculo de  $a_2$ , podem ser observados nas Figura 16, 17 e 18.



**Figura 16 – Detalhamento de tirante ancorado por alça vertical.**  
Fonte: AltoQi, 2013.



**Figura 17 – Detalhamento de tirante ancorado alça horizontal.**  
Fonte: AltoQi, 2013.



**Figura 18 – Detalhamento de tirante ancorado por barra soldada.**  
**Fonte: AltoQi, 2013.**

Quando o afastamento lateral de almofada de apoio for superior ao cobrimento da armadura, deve-se armar para a força de fendilhamento, podendo-se para tal utilizar a teoria dos blocos parcialmente carregados (pressão de contato em área reduzida), conforme item 4.4.4.1.

Não é necessário prever armadura para impedir o fendilhamento no plano horizontal das alças do tirante para cargas diretas, quando  $a_2$  obedecer à condição expressa em (3).

$$3 \cdot c \leq a_2 \leq 3 \cdot (c + \Phi) \quad (3)$$

d) O tirante deve ser localizado no quinto da altura do consolo junto à borda tracionada.

e) O diâmetro da armadura de costura não deve ser maior que  $\frac{1}{15}$  da menor dimensão do consolo no engastamento, e seu espaçamento na vertical não deve ser maior que:

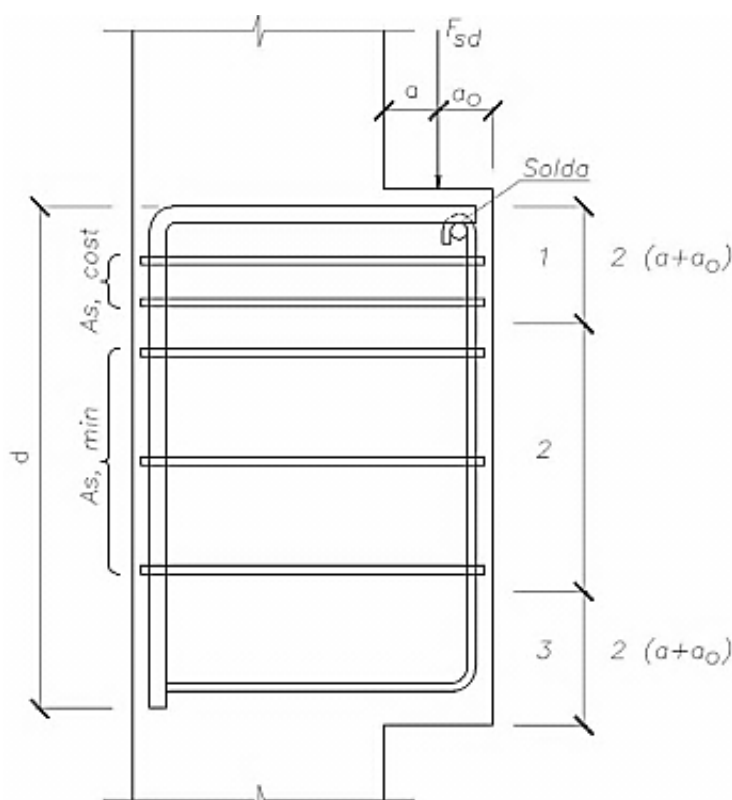
- $\frac{1}{5}$  da altura útil (d) no engastamento;
- 20 cm;
- distância a.

Ademais aos fatores acima, são citadas agora algumas considerações sobre as condições de detalhamento das armaduras do consolo:

a) O diâmetro as barras do tirante ancorado por alças horizontais não deve ser maior que um oitavo da menor dimensão do consolo na seção de engastamento ou 25mm, e seu espaçamento não deve ser maior que  $15 \Phi$  ou  $d$ .

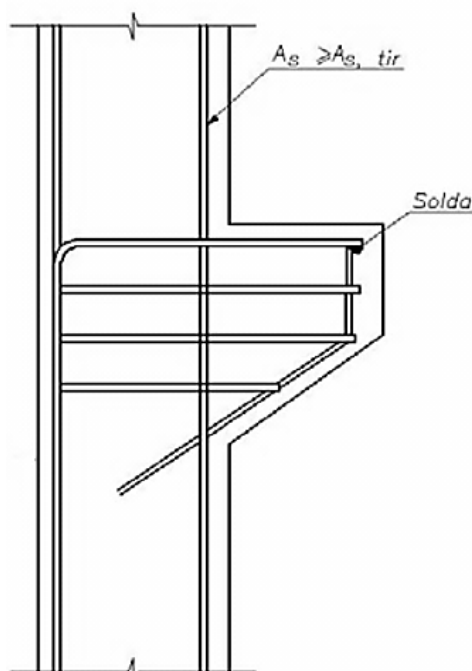
b) O diâmetro das barras do tirante por barra transversal soldada de mesmo diâmetro não deve ser maior que  $1/6$  da menor dimensão do consolo na seção de engastamento ou 25mm, e seu espaçamento não deve ser maior que  $20 \Phi$  ou  $d$ .

c) Para consolos com  $d > 4(a + a_0)$ , dispensa-se a armadura de costura, na zona 2, substituindo-a por armadura de pele com taxa  $\rho = \frac{A_{s,min}}{b} \geq 0,002$  por face, conforme Figura 19.



**Figura 19 – Detalhe de posicionamento de armadura de costura**  
**Fonte: NBR 9062:2006.**

d) Na face da peça suporte do consolo deve ser disposta armadura igual à do tirante, na forma de barras nos pilares e nervuras verticais, conforme Figura 20.



**Figura 20 – Detalhe de armadura no pilar para consolos**  
**Fonte: NBR 9062:2006.**

- e) Fica proibida a execução de consolos com tirantes ancorados por alças verticais para diâmetros de barras maiores que 16 mm.
- f) No caso de utilização de consolos com tirantes ancorados por alças verticais deverá ser atendida a distância  $a_2$  mínima da almofada de apoio às faces frontal e lateral.

#### **4.4.4.1 Pressão de contato em área reduzida**

Havendo carga em área reduzida, deve ser disposta armadura para resistir a todos os esforços de tração, sempre que a possibilidade de fissuração do concreto puder comprometer a resistência do elemento estrutural.

Quando a carga atuar em área menor do que a da superfície do elemento estrutural, pode-se considerar aumentada a resistência do concreto, não ultrapassando o valor resistente de cálculo correspondente ao esmagamento, dado pela expressão (4).

$$F_{rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} \quad (4)$$

Onde:

$A_{c0}$  é a área reduzida carregada uniformemente;

$A_{c1}$  é a área máxima de mesma forma e mesmo centro de gravidade que  $A_{c0}$ , inscrita na área  $A_{c2}$ ;

$A_{c2}$  é a área total, situada no mesmo plano de  $A_{c0}$ .

No caso de  $A_{c0}$  ser retangular, a proporção entre os lados não deve ser maior que 2.

Os valores dados por essa equação devem ser reduzidos se a carga não for uniformemente distribuída ou se existirem esforços de cisalhamento. Essa expressão não se aplica a ancoragens de proteção cuja segurança deve ser garantida por ensaios de certificação do sistema.

A Figura 21 ilustra alguns casos em que a fissuração pode comprometer a resistência do elemento estrutural e deve ser disposta armadura para resistir aos esforços de tração.

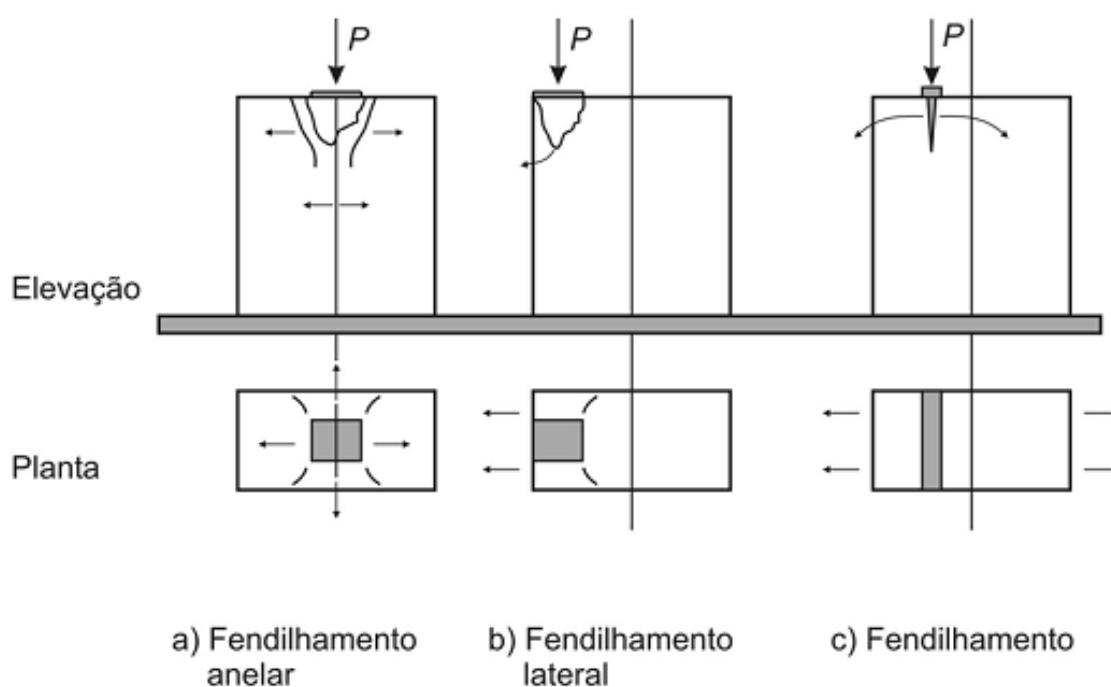
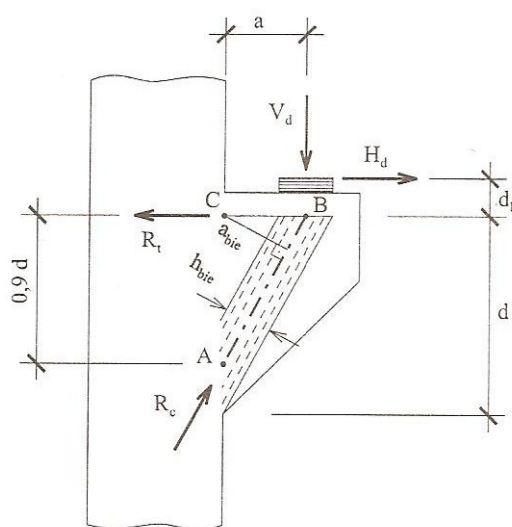


Figura 21 – Regiões de pressão localizada  
 Fonte: NBR 6118:2003.

#### 4.4.5 Roteiro de dimensionamento

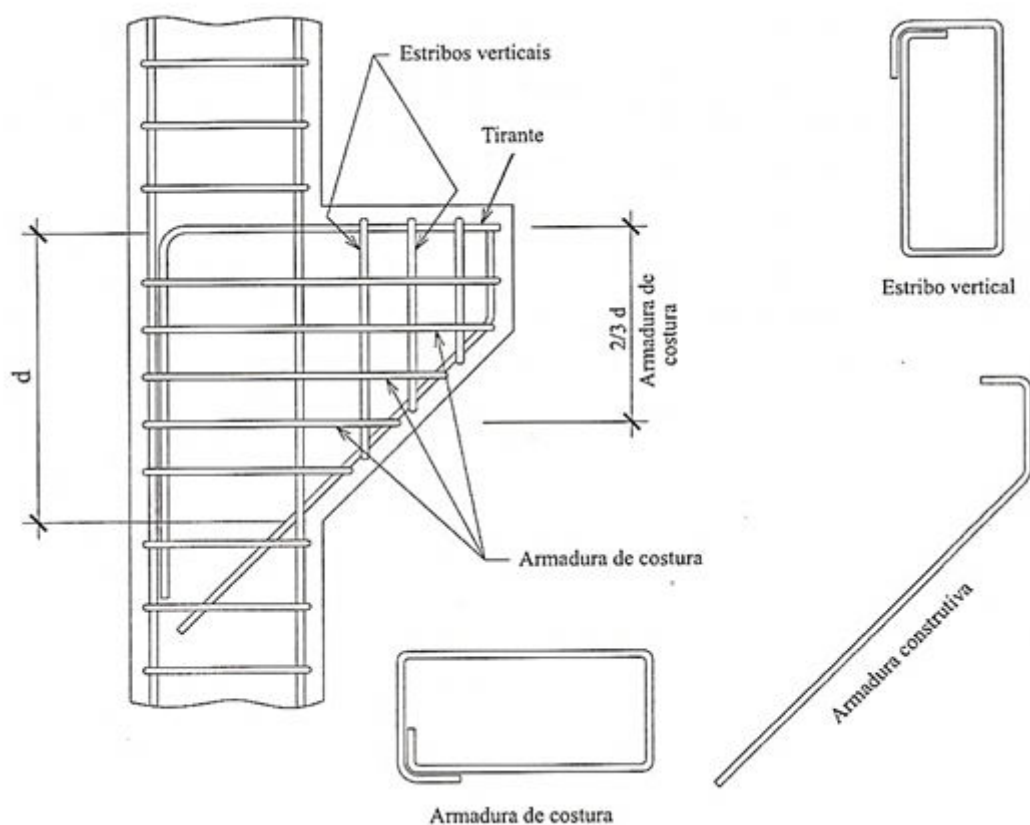
A aplicação da força no consolo em estruturas pré-moldadas é, em geral, direta. Quando ocorrer aplicação de força indireta, deve-se ater às particularidades na verificação do esmagamento da biela e no arranjo da armadura.

Para análise estrutural tem-se o modelo apresentado na Figura 22.



**Figura 22 – Modelo para cálculo de consolo curto**  
Fonte: El Debs, 2000.

Após análise estrutural e o cálculo dos esforços, a solução para armaduras que se busca é apresentado conforme a Figura 23.



**Figura 23 – Detalhamentos das armaduras do consolo**  
 Fonte: El Debs, 2000.

#### 4.4.5.1 Transmissão de esforços horizontais

Deve-se obrigatoriamente levar-se em consideração, além da força vertical ( $F_d$ ), a ocorrência de esforços horizontais ( $H_d$ ), como por exemplo, a movimentação (frenagem e aceleração) de uma ponte rolante.

A NBR 9062:2006 indica que sejam desprezados eventuais efeitos favoráveis de cargas horizontais que comprimam o plano de ligação entre o consolo e o elemento de sustentação. Considerar ainda, que o efeito de cargas horizontais que tracionem o plano de ligação entre o consolo e o elemento de sustentação seja absorvido integralmente pelo tirante.

Para a norma, as hipóteses de cálculo da NBR 6118:2003 são válidas até que não sejam conflitantes com esta norma.

Na ausência de movimento horizontal, permite-se estimar a força horizontal  $H_d$  em função da carga vertical  $F_d$ , como segue:

- a)  $H_d = 0,8 F_d$  para juntas a seco;
- b)  $H_d = 0,5 F_d$  para elemento assentado com argamassa;
- c)  $H_d = 0,16 F_d$  para almofadas de elastômetro;
- d)  $H_d = 0,08 F_d$  para almofadas revestidas de plástico politetrafluoretileno (PTFE);
- e)  $H_d = 0,25 F_d$  para apoios realizados entre chapas metálicas não soldadas;
- f)  $H_d = 0,4 F_d$  para apoios realizados entre concreto e chapas metálicas;
- g) Para concretagem no local, ligação por meio de solda ou com apoio de graute, é obrigatório o estudo detalhado do valor da força horizontal aplicada na ligação.

#### 2.4.5.2 Biela comprimida

Primeiramente buscam-se os valores da reação de compressão  $R_c$  para então chegar-se a tensão de compressão na biela. Assim a distância  $a_{bie}$  é calculada conforme (5) e a altura da biela conforme de (6).

$$a_{bie} = \frac{0,9 \cdot d \cdot a}{\sqrt{(0,9 \cdot d)^2 + a^2}} \quad (5)$$

$$h_{bie} = 0,2 \cdot d \quad (6)$$

Do equilíbrio de momentos em relação ao ponto C, tem-se a reação  $R_c$  obtida pela expressão (7).

$$R_c = \frac{V_d a + H_d d_h}{a_{bie}} \quad (7)$$

Substituindo o valor de  $a_{bie}$ , resulta a equação (8).

$$Rc = \frac{V_d a + H_d d_h}{0,9 d a / \sqrt{(0,9 d)^2 + a^2}} \quad (8)$$

A tensão de compressão na biela é calculada com a expressão (9).

$$\sigma_c = \frac{Rc}{0,2bd} = \frac{V_d}{bd} \left( 1 + \frac{H_d d_h}{V_d a} \right) 5,55 \sqrt{0,9^2 + \left( \frac{a}{d} \right)^2} \quad (9)$$

Para simplificar a expressão (9), despreza-se o valor da parcela  $H_d d_h / V_d a$ , que para os casos usuais é menor que 0,06, obtendo-se a equação (10).

$$\sigma_c = \frac{V_d}{bd} 5,55 \sqrt{0,9^2 + \left( \frac{a}{d} \right)^2} \quad (10)$$

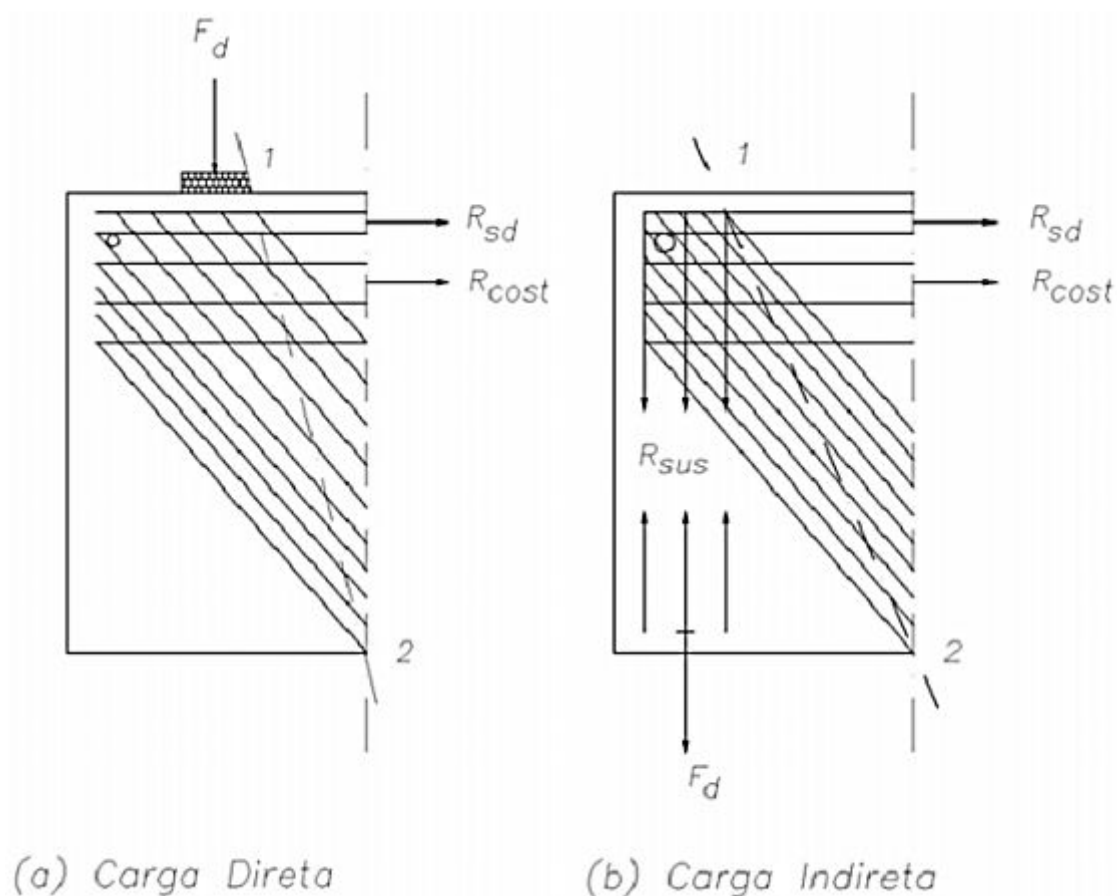
Limitando o valor da tensão na biela em  $\beta f_{cd}$  e colocando em termos de tensão de referência, tem-se a equação (11).

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{bd} \leq \tau_{wu} \quad (11)$$

onde:

$$\tau_{wu} = \frac{0,18 \beta f_{cd}}{\sqrt{0,9^2 + \left( \frac{a}{d} \right)^2}} = \chi f_{cd} \quad (12)$$

O valor de  $\beta$  pode ser assumido igual a 1,0 para forças diretas e 0,85 para forças indiretas, de acordo com a NBR 9062:2006, como apresentado na Figura 24.



**Figura 24 – Carga direta e indireta**  
**Fonte: NBR 9062:2006.**

Considerando o valor de  $\beta$  igual a 1, tem-se os seguintes valores particulares de  $\chi$  relativos à tensão tangencial de referência:

$$a/d = 1,0 \rightarrow \chi = 0,134$$

$$a/d = 0,5 \rightarrow \chi = 0,175$$

Vale ressaltar que se encontra na literatura técnica, indicações para os valores de tensão última na faixa de  $0,2f_{cd}$  a  $0,25f_{cd}$ , portanto, maiores que os valores aqui sugeridos, principalmente o correspondente a  $a/d = 1,0$ .

### 2.4.5.3 Tirante

No cálculo da armadura para consolo curto, a área da armadura do tirante pode ser determinada:

a) A partir da Figura 22, fazendo o equilíbrio de momento em relação ao ponto A, resultando na equação 13.

$$A_{s,tir} f_{yd} = \frac{V_d a + H_d(0,9 d + d_h)}{0,9 d} \quad (13)$$

Admitindo que  $d_h/d$  é aproximadamente igual a 0,2, resulta na expressão (14).

$$A_{s,tir} = \frac{V_d}{0,9 f_{yd}} \frac{a}{d} + 1,2 \frac{H_d}{f_{yd}} \quad (14)$$

b) Ainda tratando-se da armadura do tirante, utilizando-se o método de cálculo apresentado pela NBR 9062:2006, que diz:

Na seção de engastamento, a taxa mecânica de cálculo  $\varpi = \rho \cdot f_{yk}/f_{ck}$  deve ser superior a 0,04 para os consolos com  $a/d \leq 2$ , onde  $\rho$  é expresso pela equação (15).

$$\rho = \frac{A_{s,tir}}{b \cdot d} \quad (15)$$

onde:

$A_{s,tir}$  é a área total de aço concentrada no tirante.

Para consolos curtos, admite-se que a armadura total do tirante é dada pela equação (16).

$$A_{s,tir} = A_{sv} + \frac{H_d}{f_{yd}} \quad (16)$$

Onde  $A_{sv}$  é calculado pela equação (17).

$$A_{sv} = \left(0,1 + \frac{a}{d}\right) \cdot \frac{F_d}{f_{yd}} \quad (17)$$

Comparando-se os resultados obtidos para a área de aço no tirante entre a referência em (a) e a NBR 9062:2006 em (b), pode-se observar que os valores a partir dos cálculos de (a) tem um maior fator de segurança.

Para a devida ancoragem das armaduras do tirante, devem-se observar algumas indicações:

- Para evitar a possibilidade de ruptura do concreto na extremidade do consolo, que pode ocorrer quando se faz o dobramento das barras, a armadura do tirante deve ser ancorada utilizando laço ou com barra transversal soldada na extremidade.

- Há indicação prática para o consolo de que a barra do tirante está suficientemente ancorada se houver uma barra transversal soldada de diâmetro igual ou superior a do tirante. Isso se deve às fortes tensões de compressão transversais. Pela mesma razão, o raio de dobramento da ancoragem por laço pode chegar a  $5\phi$  para barras com  $\phi \leq 20$  mm.

- As barras do tirante podem ser ancoradas dobrando a armadura para baixo quando o consolo for muito largo. Segundo a NBR 9062:2006, isso é permitido para  $b$  (largura do consolo) quatro vezes maior que o comprimento do consolo e, ainda assim, se não houver forças horizontais de grande magnitude, para não “lascar” a extremidade do consolo. Neste caso, recomenda-se que sejam satisfeitas as condições tanto de ancoragem da armadura quanto da distância entre a extremidade da placa de transmissão de força válida para barras que se encontram a mais de 70 mm das faces laterais.

Tendo-se realizado os cálculos e procedimentos acima, passa-se ao detalhamento da armadura do tirante a partir dos requisitos das NBR 6118:2003 e NBR 9062:2006.

#### 4.4.5.4 Armadura de costura

Armadura de costura é considerada obrigatória e adequada quando adota-se o seguinte valor de armadura, distribuída em  $2/3$   $d$ , adjacentes ao tirante obedecendo a equação (18).

$$\left(\frac{A_s}{S}\right)_{cost} \geq 0,4 \cdot \left(\frac{A_{sv}}{d}\right) \quad (18)$$

Desde que forem respeitadas as disposições construtivas previstas nas NBR 6118:2003 e NBR 9062:2006.

Não deve-se adotar  $F_{yd} > 435$  Mpa.

#### **4.4.5.5 Armadura transversal**

Para os consolos com cargas diretas, os estribos verticais, quando construtivamente necessários, devem ser escolhidos segundo as taxas mínimas da NBR 6118:2003 para vigas de mesma largura  $b$  e altura igual à do consolo no engastamento. O posicionamento da armadura transversal (estribos verticais) é dado segundo Figura 23.

## 5 METODOLOGIA

De acordo com Fiorese (2003), o método é o conjunto de processos pelos quais se torna possível desenvolver procedimentos que permitam alcançar um determinado objetivo. Desta forma, para que se desenvolva um trabalho, necessita-se a adoção de uma metodologia que caminhe de forma eficiente até o objetivo, apresentando a pesquisa de maneira clara e que enriqueça o estudo. Esta escolha do método a ser utilizado corresponde então a um ponto crítico da concepção do estudo, podendo contribuir, tanto para o sucesso do trabalho, quanto para a sua desvalorização.

Lakatos e Marconi (2001) falam sobre os métodos de procedimento, estes constituem etapas mais concretas da investigação. Para o caso em análise, o método utilizado será o método comparativo, que se justifica quando é explanado o contexto da pesquisa.

As fábricas de estruturas pré-moldadas utilizam, em sua maioria, um método que possibilite a otimização do processo construtivo, como pode-se constatar no item referente a fôrmas deste estudo. As fôrmas metálicas apresentam melhores características de durabilidade e constância de volume e acabamento, sendo assim utilizadas por grande parte das fábricas de elementos pré-moldados. Porém, existe uma necessidade neste tipo de estrutura que diz respeito à ligação entre vigas e pilares para que se forme uma estrutura suficientemente estável. A solução adotada é a confecção de um consolo, ou seja, uma peça componente do pilar responsável por apoiar a viga e transmitir determinados esforços de um elemento a outro.

O fato é que quando se executa apenas um consolo (apenas uma viga descarrega no pilar) é possível, a montagem da armadura de forma corriqueira (com esperas devidamente ancoradas), apenas com concretagem posterior. Entretanto, a maioria dos pilares recebem o carregamento de duas ou mais vigas, havendo então a necessidade de 2 ou mais consolos, mas como as fôrmas metálicas, tão proveitosas em termos econômicos e de qualidade não são preparadas para receber estes consolos, gera-se uma complicação, sobre a qual as empresas devem desenvolver formas de executar os consolos excedentes, ou seja, quando o consolo se localiza em uma face do pilar que, no momento da concretagem, fica em contato

com a fôrma. Nestes casos utiliza-se um método diferenciado de execução dos consolos.

Estes métodos, foco de estudo deste trabalho, variam de empresa para empresa, desta forma, a análise comparativa é coerente. Será realizada análise comparativa entre as empresas, em relação ao processo executivo empregado, ou seja, facilidade de execução, menor desperdício de materiais, juntamente a garantia da qualidade do elemento e uma comparação com as especificações de norma em relação a armadura necessária para o elemento de consolo e disposições construtivas, visando apontar se os métodos garantem a conformidade com as exigências das normas regulamentadoras.

Gil (2002) diz que a pesquisa bibliográfica se desenvolve com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Neste tipo de pesquisa os estudos são desenvolvidos exclusivamente a partir das fontes bibliográficas. Sendo os métodos utilizados pelas fábricas de pré-moldados diferentes entre si, a avaliação depende de um embasamento bibliográfico, além do levantamento das especificações das normas para a comparação, bem como a contextualização do tema, estes estudos constituem-se de pesquisa bibliográfica que representa parte do método utilizado para esta pesquisa.

A pesquisa tem ainda caráter qualitativo, uma vez que a amostra de empresas a serem analisadas é limitada geograficamente e não corresponde a um grande grupo de elementos, além da metodologia de avaliação que leva em conta os critérios adotados de forma particular, ou seja, cada empresa utiliza um método que pode ser bastante distinto do método seguinte, acarretando em uma forma de análise diferenciada. Sendo assim, cada um dos resultados obtidos são tratados separadamente e a comparação será realizada de forma posterior.

De uma forma geral, a metodologia consiste então em um procedimento comparativo entre os valores levantados em norma e os valores analisados a partir dos dados coletados em empresas de pré-moldados na região, levando em consideração os processos executivos utilizados.

A metodologia utilizada para o estudo apresentado acima é dividida nos seguintes itens:

- A coleta destes dados será feita por meio de pesquisa de campo, mediante preenchimento de ficha de visita, apresentada no Anexo A, onde constam várias questões que abordam as características de cada consolo executado nas

empresas, entre elas o procedimento adotado para a execução dos consolos e a disposição das armaduras para este elemento;

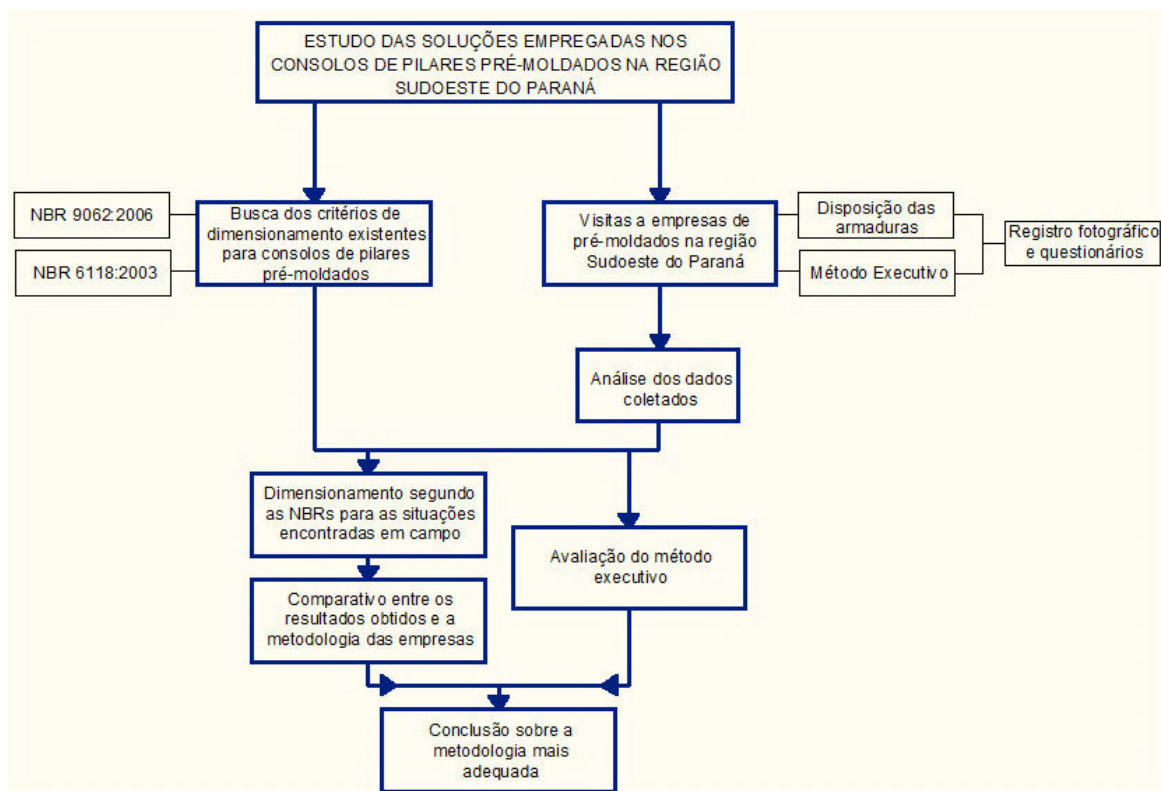
➤ Para levantamento dos dados segundo as normas, serão utilizadas a NBR 9062:2006 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado e a NBR 6118:2003 – Projeto de Estruturas de Concreto, das quais serão extraídos os critérios de dimensionamento e as disposições construtivas para os elementos de consolos.

Após estas duas etapas, com os dados e as informações sobre como são executados os consolos nas empresas e também com os valores do dimensionamento segundo as normas citadas acima, faz-se:

➤ O tratamento dos dados coletados será feito a partir da comparação entre as disposições construtivas, no que diz respeito às armaduras, para os consolos executados nas empresas e a disposição para cada uma destas situações baseados nos critérios de dimensionamento das normas.

➤ Após esta análise, avaliam-se os resultados, porém, levando-se em conta os métodos executivos existentes, observando-se a viabilidade da execução e a qualidade do produto final.

A Figura 25 apresenta o roteiro para a metodologia do estudo.



**Figura 25 – Organograma para o estudo**  
Fonte: O autor, 2013.

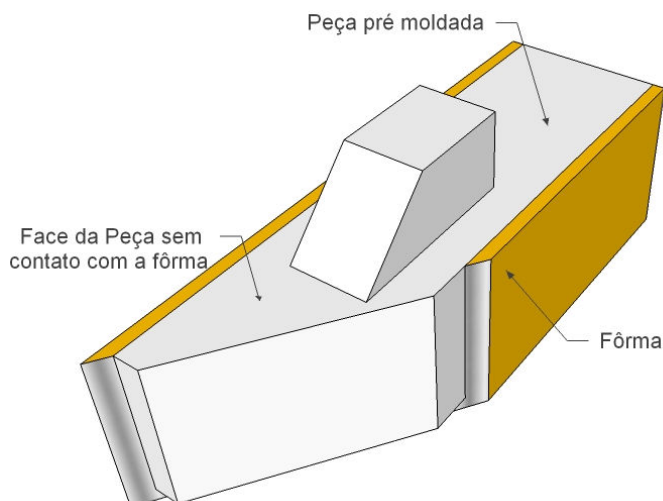
## 6 PROCESSOS DE PRODUÇÃO UTILIZADOS PELAS EMPRESAS

Dentre as empresas visitadas não se visualizou um modelo preponderante para execução dos consolos, principalmente tratando-se da elaboração de um método para concretagens em etapas distintas dos pilares. Cada uma das indústrias desenvolveu um processo para execução, baseando-se em critérios empíricos e/ou análises científicas, e mantém este da forma mais regular possível, cada qual dentro das limitações impostas pelo sistema adotado.

As bibliografias não se referem em sua maioria, ou todas, quanto à execução de consolos em mais de uma etapa de concretagem. Têm-se as referências normativas para as juntas frias em concreto, tratando-se de elementos de concreto armado convencional. Porém são poucos locais onde encontram-se materiais específicos para os casos de concretos pré-moldados nas regiões de ligações, elementos que se comportam de maneira diferente de peças corriqueiras e concretos convencionais.

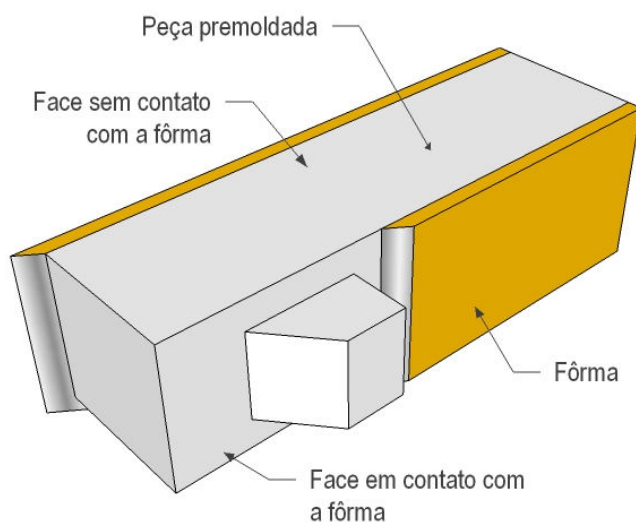
A forma de apresentação dos dados consistirá em, para cada empresa, relatar o modelo aplicado a cada um dos modos a seguir:

➤ Modo 1: quando há apenas um consolo em uma face do pilar, havendo a possibilidade de se deixar a armadura do consolo já posicionada antes da concretagem do pilar, geralmente quando a face onde existe o consolo não é uma face que fica em contato com a fôrma;



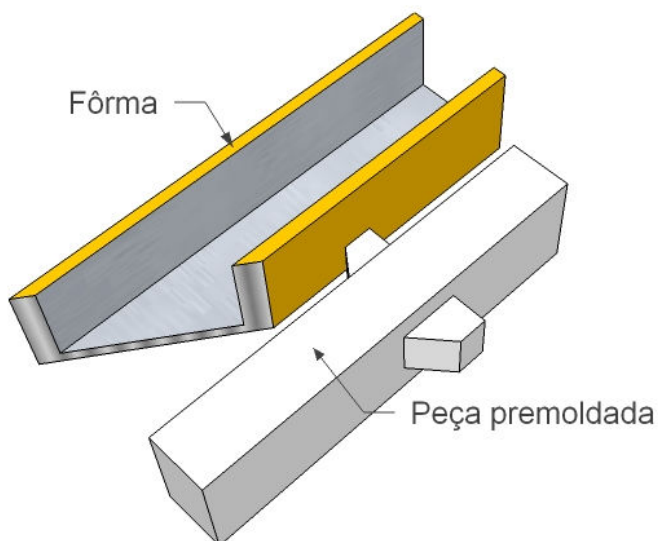
**Figura 26 – Ilustração de uma peça encaixada no modo 1**  
Fonte: O autor, 2013.

➤ Modo 2: quando há apenas um consolo em uma face do pilar, e não há a possibilidade de se deixar a armadura do consolo já posicionada antes da concretagem do pilar, isso se deve a posição do consolo em uma face do pilar que fica em contato com a fôrma (inferior ou laterais);



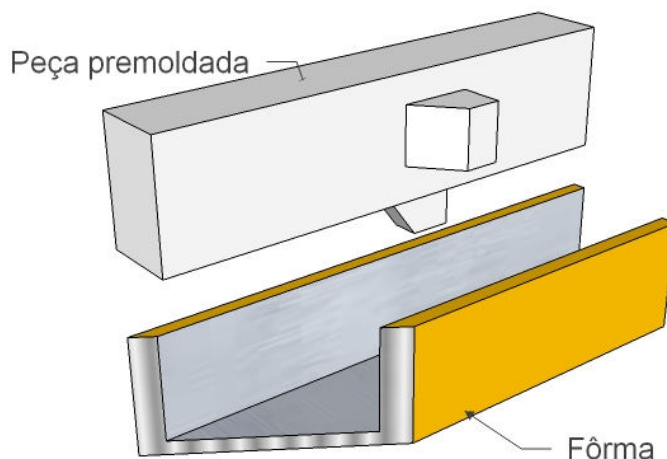
**Figura 27 – Ilustração de uma peça enquadrada no modo 2**  
Fonte: O autor, 2013.

➤ Modo 3: quando há dois consolos em faces opostas do pilar, desde que não localizados na face inferior da fôrma;



**Figura 28 – Ilustração de uma peça enquadrada no modo 3**  
Fonte: O autor, 2013.

➤ Modo 4: quando há 2 ou mais consolos adjacentes, sendo um localizado na face inferior da fôrma.



**Figura 29 – Ilustração de uma peça encaixada no modo 4**  
Fonte: O autor, 2013.

Será apresentado ainda um detalhamento da armadura utilizada para os consolos, a forma de dimensionamento entre outras considerações sobre dobra e características do processo de concretagem.

## 6.1 EMPRESA A

Esta empresa atua na região há cerca de 30 anos, atualmente trabalhando com tecnologias de pré-fabricados, lajes treliçadas, estruturas metálicas e pré-moldadas, sendo considerada uma empresa de grande porte, possuindo instalações amplas e grande quantidade de equipamentos e maquinário.

O processo de produção dos elementos pré-moldados conta com o sistema de fôrmas metálicas para produção de pilares, vigas e lajes, sendo as fôrmas, utilizadas na produção das peças, de dimensões padrões. Grande parte destas fôrmas é destinada à produção de pilares.

A metodologia utilizada para execução dos consolos vem sendo adaptada, o processo se mantém o mesmo desde a fundação da empresa, porém, recebeu

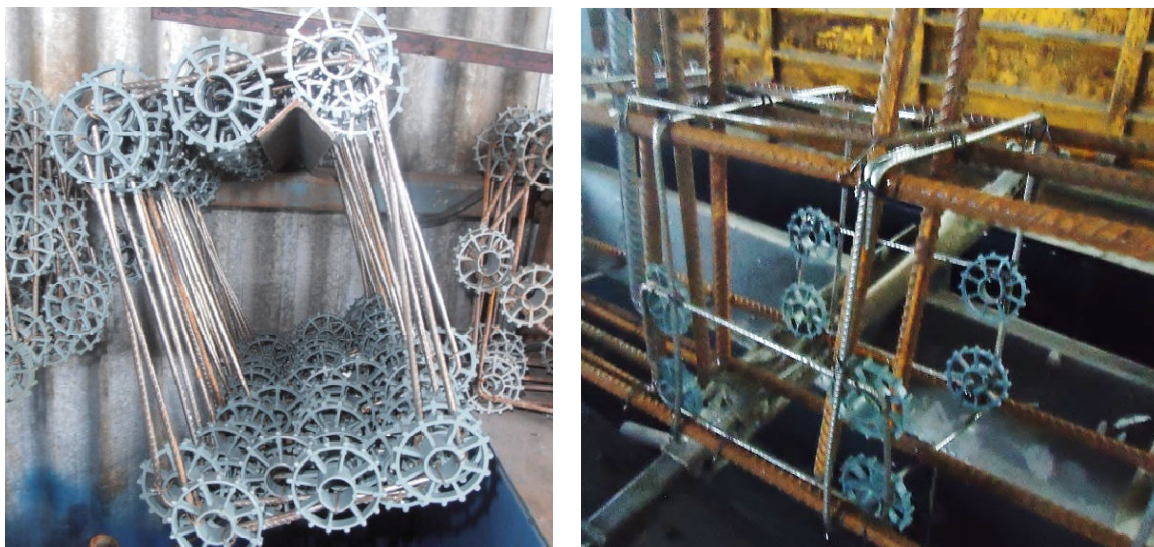
pequenas alterações ao longo dos anos. Há ainda, segundo o responsável técnico, o desejo de alterar o processo de concretagem dos consolos, tendo como objetivo a melhoria da resistência e acabamento das peças.

### **6.1.1 Forma de execução dos consolos**

Como o processo de produção das peças utiliza fôrmas metálicas específicas para cada modelo de peça, as laterais e fundo das fôrmas possuem dimensões fixas, não havendo, portanto, a possibilidade de ajustes para execução de diferentes tipos de peças. Sendo assim, toda peça produzida tem suas laterais “lisas”, recebendo a execução do consolo em etapa posterior a da sua produção, o que exige uma metodologia diferenciada para a produção deste elemento. Além disso, a quantidade e disposição de consolos ao longo das quatro faces da peça, em um mesmo ponto, influenciam na sistemática de solução para execução deste tipo de elemento.

Em resumo, o processo consiste em deixar orifícios no concreto para facilitar uma posterior passagem das armaduras pelo interior da peça. Para execução destes orifícios, são posicionadas juntamente e perpendicularmente à armadura principal da peça de 4 à 6 barras de “ferro mecânico”, ou seja, barras de aço lisas, dispostas na posição das armaduras do consolo (Figura 30) . Estas barras são untadas com desmoldante de modo a impedir a sua aderência ao concreto, facilitando sua retirada após a desforma do elemento. Sendo assim, após a retirada destas barras, a peça fica vazada.

Para fixação das barras na posição correta e impedir o deslocamento destas durante o transporte da armadura e concretagem da peça, o sistema emprega um dispositivo constituído em um estribo dobrado em ferro 4.2 mm e espaçadores (os mesmos empregados na construção civil para provimento dos cobrimentos em peças de concreto armado), em número igual a quantidade de barras que serão utilizadas para composição final do consolo. Tal dispositivo é apresentado na Figura 30.



**Figura 30 – Dispositivo para locação das barras do consolo e seu posicionamento junto à armadura do elemento**  
Fonte: O autor, 2013.

Em seguida, são posicionadas as barras lisas que resguardarão, no momento da concretagem do pilar, o lugar para a posterior fixação das barras definitivas do consolo. A Figura 31 apresenta as barras lisas junto à armadura da peça posicionadas dentro da fôrma já prontas para a concretagem do elemento.



**Figura 31 – Barras lisas posicionadas**  
Fonte: O autor, 2013.

Após a concretagem, cura e desforma do pilar, as barras lisas são localizadas na face da peça e removidas, permanecendo os furos que irão receber a armadura definitiva do consolo (Figura 32).

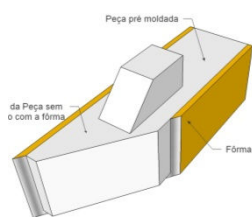


Figura 32 – (a) Furos na peça após retiradas as barras lisas e (b) barras lisas removidas do interior da peça  
Fonte: O autor, 2013.

A fixação das barras de aço que farão parte do consolo tem execução diferenciada quanto aos modos de execução estudados neste trabalho, os processos são detalhados no item a seguir.

### 6.1.2 Modos de execução dos consolos

A seguir são detalhados os processos de execução para cada um dos modos em estudo.



**Modo 1**

➤ Modo 1: Para o modo 1 (figura ao lado), a armadura do consolo é armada juntamente à armadura da peça, ficando posicionada no interior da peça concretada já em seu local definitivo, sendo que, devido ao consolo não estar em contato com a fôrma, este método é mais facilitado. A Figura 33

apresenta a armadura do consolo fixada à armadura do pilar, antes da concretagem do pilar.

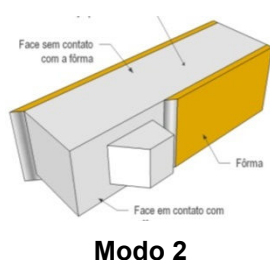


**Figura 33 – Armadura para o consolo executado segundo o modo 1**  
Fonte: O autor, 2013.

Após a desforma da peça, é realizada a concretagem do consolo com auxílio de uma fôrma menor travada na peça (Figura 34).



**Figura 34 – Concretagem de consolo segundo o modo 1.**  
Fonte: O autor, 2013.

**Modo 2**

➤ **Modo 2:** Para o modo 2 (figura ao lado), a metodologia executada para este modo corresponde à citada no item 6.1.1, onde o elemento é concretado contendo barras lisas na localização onde será fixada a armadura definitiva do consolo, após a retirada destas barras inicia-se o processo de produção do consolo.

Primeiramente são executados recortes nas faces da peça que receberá o consolo (para auxiliar na aderência dos concretos com idades diferenciadas) e na face oposta de modo a posicionar as barras de aço do consolo para que estas fiquem ancoradas e devidamente cobertas por uma camada de concreto (Figura 35). Os recortes têm profundidades de aproximadamente 1,5 cm.

As barras de aço são dobradas em formato de um “U” que se encaixa nos orifícios deixados na peça e no recorte da face oposta, ficando amostra na face “apicoada” (face onde será concretado o consolo) as pontas deste “U”, com um comprimento adequado para montagem da armadura do consolo. As barras são fixadas com graute e, em seguida, recebem os estribos, passando então para a etapa de concretagem. Estas etapas do processo são vistas na Figura 35.

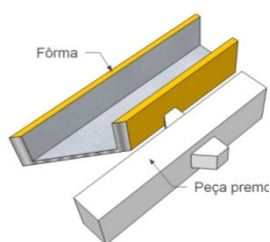


(a)

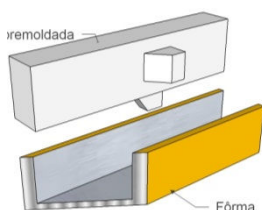
(b)

**Figura 35 – (a) Barras de aço e recortes no pilar para execução do consolo no modo 2; (b) Barras “U” já armadas com estribos**

Fonte: O autor, 2013.

**Modo 3**

➤ Modo 3: Para o modo 3 (figura ao lado), a execução consiste em, após removidas as barras lisas do interior do pilar concretado (como descrito em 6.1.1), realizar o recorte e “apicoamento” em ambas as faces que receberão os consolos, as barras de aço, que são cortadas de modo a ultrapassar a seção do pilar e dar a dimensão para ambos os consolos opostos, são fixadas com graute nos furos e, em seguida, são amarados os estribos.

**Modo 4**

➤ Modo 4: Para o modo 4 (figura ao lado), o modo de execução é equivalente ao modo 2 ou ao modo 3, dependendo da configuração e do número de consolos no pilar.

Há ainda possibilidade de outras ocasiões em um mesmo ponto do pilar, as quais são resolvidas com emprego de combinações das soluções acima apresentadas.

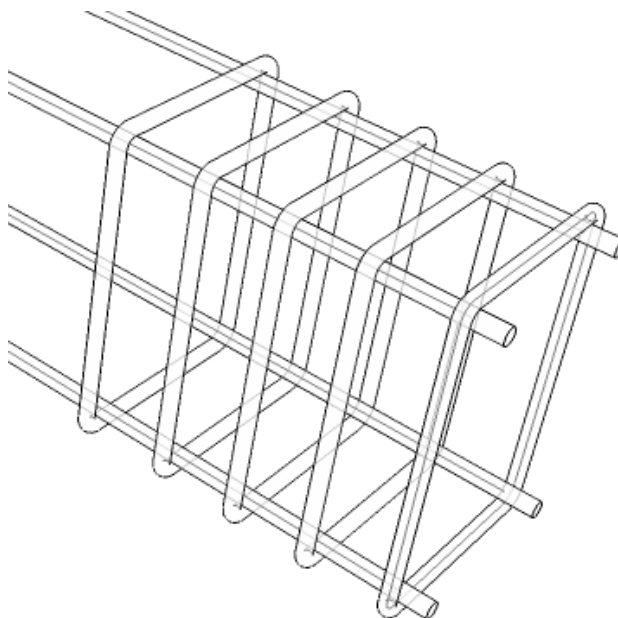
### 6.1.3 Preparo e detalhamento das armaduras

A seção de corte e dobra de armaduras da Empresa A tem instalação ampla, porém não conta com equipamentos mecanizados para otimizar este serviço, apenas com máquina de corte. A Figura 36 mostra a mesa de dobra e o armazenamento das armaduras.



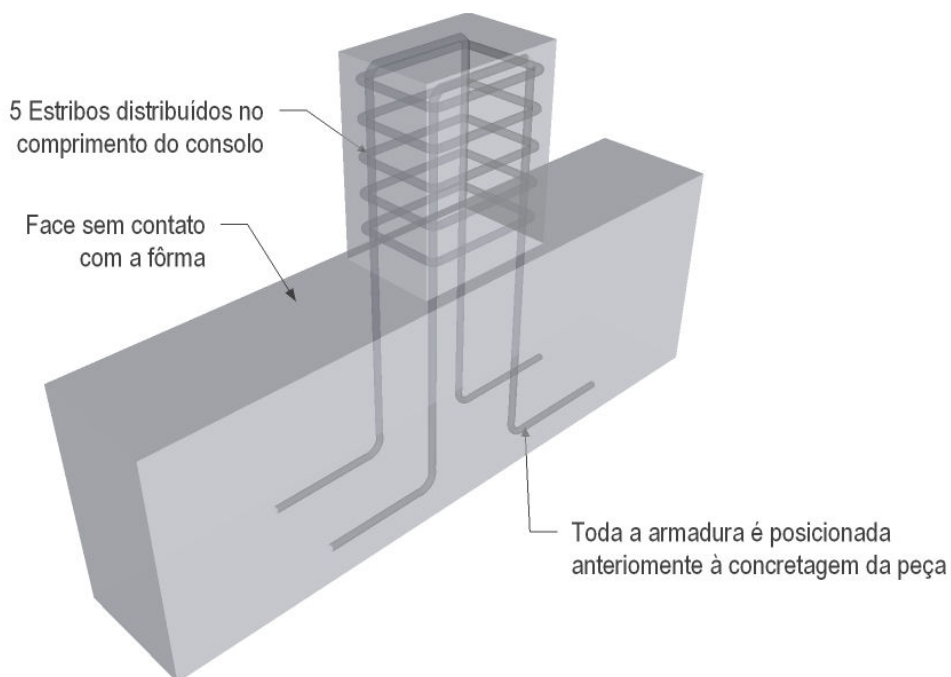
**Figura 36 – Mesa de corte e dobra**  
**Fonte: O autor, 2013.**

Quanto ao detalhamento da armadura utilizada pela Empresa A, esta segue um padrão de configuração para as barras do consolo, sendo sempre utilizados cinco estribos em aço CA 60 de 4,2 mm de diâmetro, espaçados uniformemente no comprimento do consolo, como apresentado na Figura 37.



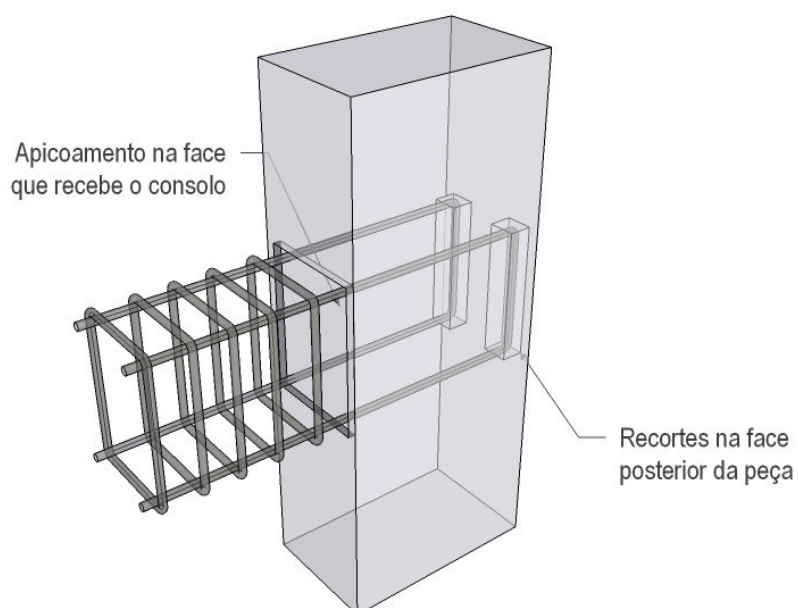
**Figura 37 – Esquema de estribos empregados**  
**Fonte: O autor, 2013.**

A ancoragem destas armaduras se dá de acordo com o modo executado: sendo o modo 1 ancorado com auxílio da dobra das barras do consolo realizando o acompanhamento da armadura principal da peça (Figura 38).

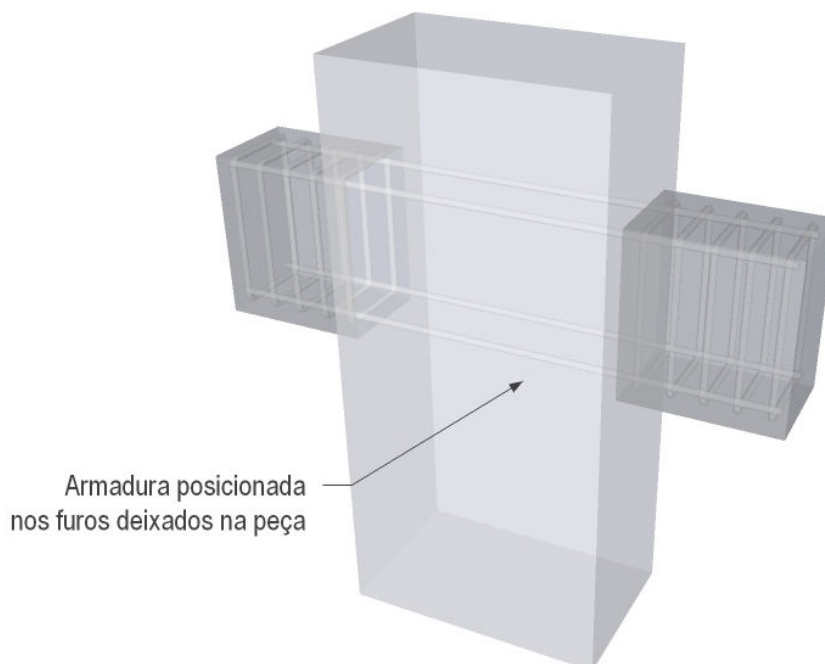


**Figura 38 – Modelo para o modo 1**  
**Fonte: O autor, 2013.**

Para o modo 2, a armadura do consolo “abraça” parte da peça devido a execução do “U” (Figura 39). Já para o modo 3 o comprimento de ancoragem é realizado com auxílio do transpasse da barra de um consolo à outro (Figura 40), para o modo 4 empregam-se combinações aplicando-se o modo 2 e modo 3, como apresentado.



**Figura 39 – Modelo do modo 2**  
**Fonte: O autor, 2013.**



**Figura 40 – Modelo do modo 3**  
**Fonte: O autor, 2013.**

#### **6.1.4 Produção do concreto**

A Empresa A conta com uma central de dosagem (Figura 41) para a produção de concreto, o que representa maior precisão em relação ao traço do concreto. Com os traços empregados e o uso de aditivos plastificantes, visando a redução de água de amassamento, a resistência característica do concreto produzido é de cerca de 40 Mpa.



**Figura 41 – Central dosadora de concreto**  
**Fonte: O autor, 2013.**

Segundo o responsável técnico é realizado o ensaio de *slump test* pela manhã, na primeira dosada do dia e ensaios de resistência característica a compressão quando há alteração nos materiais ou traço empregado.

### **6.1.5 Concretagem dos consolos**

Em geral, não se produz concreto exclusivamente para concretagem dos consolos, devido a necessidade de produção utilizando a central de dosagem para uniformidade no concreto da peça, visto que se utiliza o mesmo traço para a produção das peças e concretagem em segunda etapa dos consolos. A utilização de uma ponte rolante auxilia, além da movimentação das peças, na concretagem dos consolos, tornando o processo mais rápido.

Para concretagem dos consolos, logo após a montagem da armadura segundo cada modo, posiciona-se a fôrma do mesmo e é realizada a concretagem. Para a execução do modo 1, no qual a armadura é posicionada antes da

concretagem do pilar, após a desforma da peça, resta a instalação do molde do consolo, para que este seja concretado. A desforma dos consolos é realizada somente no dia subsequente à concretagem, recebendo ainda um acabamento final visando melhorar sua aparência.

Na Figura 42 vislumbram-se dois modelos de moldes para consolos (sendo cada qual utilizado na situação de mais praticidade).

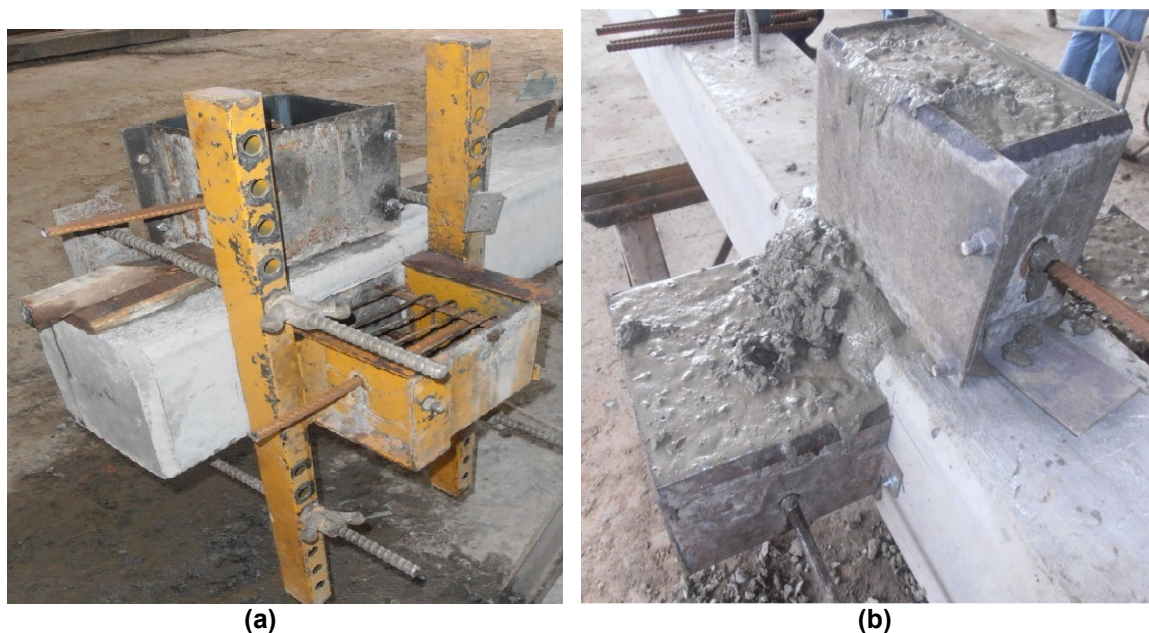


Figura 42 – (a) Fôrmas dos consolos. (b) Concretagem dos consolos  
Fonte: O autor, 2013.

## 6.2 EMPRESA B

Esta empresa tem poucos anos de atuação no ramo da indústria de pré-fabricados, encontrando-se em fase de expansão. Trabalha com pilares e vigas pré-moldadas e estruturas metálicas, com foco na execução de barracões e obras de médio e pequeno porte, possuindo equipamentos simples para corte e dobra do aço e manuseio dos materiais para a produção do concreto. Desta forma, grande parte dos processos dá-se de forma braçal.

### 6.2.1 Forma de execução dos consolos

A fôrma utilizada para a produção das peças é metálica, tipo comum entre as indústrias de pré-moldados, porém com uma particularidade, é a própria empresa que fabrica as fôrmas com utilização de um soldador, estas têm dimensões fixas definidas conforme projeto, seguindo o padrão de produção.

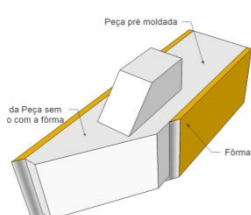
O método de execução de consolos empregado é o único utilizado pela empresa desde o início da produção, sendo considerado seu desempenho e lucratividade satisfatórios pelos responsáveis.

A empresa executa os consolos de forma diferenciada entre os modos de execução. Para o modo 1 as armaduras do consolo são montadas juntamente à armadura do elemento e posicionada na fôrma para concretagem da peça. Sendo o consolo concretado em uma segunda etapa no dia subsequente à concretagem com auxílio de fôrmas móveis metálicas.

Para os demais modos, onde não há possibilidade da montagem da armadura anteriormente à concretagem da peça, são executados furos, com auxílio de uma furadeira, na posição das armaduras do consolo, onde esta é fixada por meio da utilização de um adesivo estrutural à base de resina epóxi efetuando-se posteriormente a montagem e concretagem do consolo.

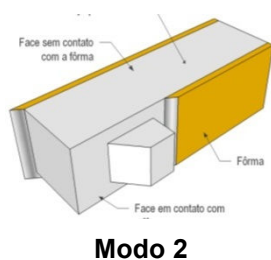
### 6.2.2 Modos de execução dos consolos

Na fabricação dos consolos, a empresa se utiliza de formas diferenciadas de produção, dependendo da posição deste elemento em relação à fôrma.

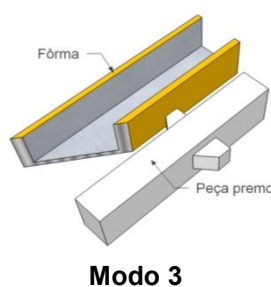


**Modo 1**

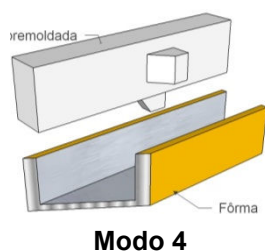
➤ **Modo 1:** Para o modo 1 (figura ao lado), a armadura definitiva do consolo é instalada juntamente com a armadura do pilar, após a concretagem e desforma desta peça é instalado o molde para o consolo que é concretado no dia subsequente à concretagem do pilar.



➤ **Modo 2:** Para os consolos que se enquadram no modo 2 (figura ao lado), após a desforma da peça, são executados furos de 1/2" na peça aos quais são fixadas as barras de aço através do uso de adesivo estrutural à base de resina epóxi, o Sikadur 32®, sendo este aplicado sobre as barras no comprimento que adentra a peça, seguindo posicionamento, montagem e concretagem do consolo.



➤ **Modo 3:** Para a execução de consolos no modo 3 (figura ao lado), o procedimento é semelhante ao modo 2, porém o furo que recebe a armadura tem maior diâmetro e atravessa toda a seção da peça, restando para cada lado o comprimento para montagem do consolo na face, em seguida são montados os estribos, procedendo-se a concretagem. O processo de fixação das barras no interior da peça dá-se com o Sikadur 32®, do mesmo modo executado para o modo 2.



➤ **Modo 4:** Já para o modo 4 (figura ao lado), o processo é idêntico ao modo 2 ou ao modo 1 de acordo com a posição dos consolos a serem executados.

Há ainda uma diferenciação no formato dos consolos, sendo esta variação proveniente do modo de execução, como pode ser verificado na Figura 43.

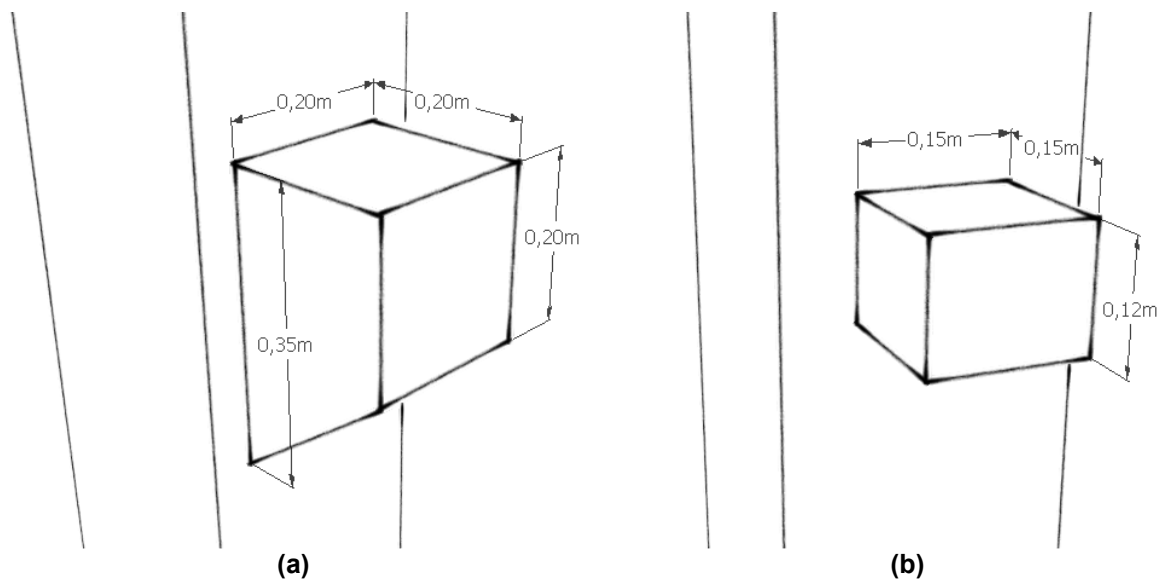


Figura 43 – Detalhamento das dimensões dos consolos padrão (a) modo 1 e (b) modos 2, 3 e 4  
Fonte: O autor, 2013.

### 6.2.3 Preparo e detalhamento das armaduras

Para a preparação da armadura, o equipamento utilizado é a serra policorte, sendo este o único equipamento mecânico utilizado na montagem da armadura. A dobra e a amarração são manuais, realizada em mesa de dobra (Figura 44).

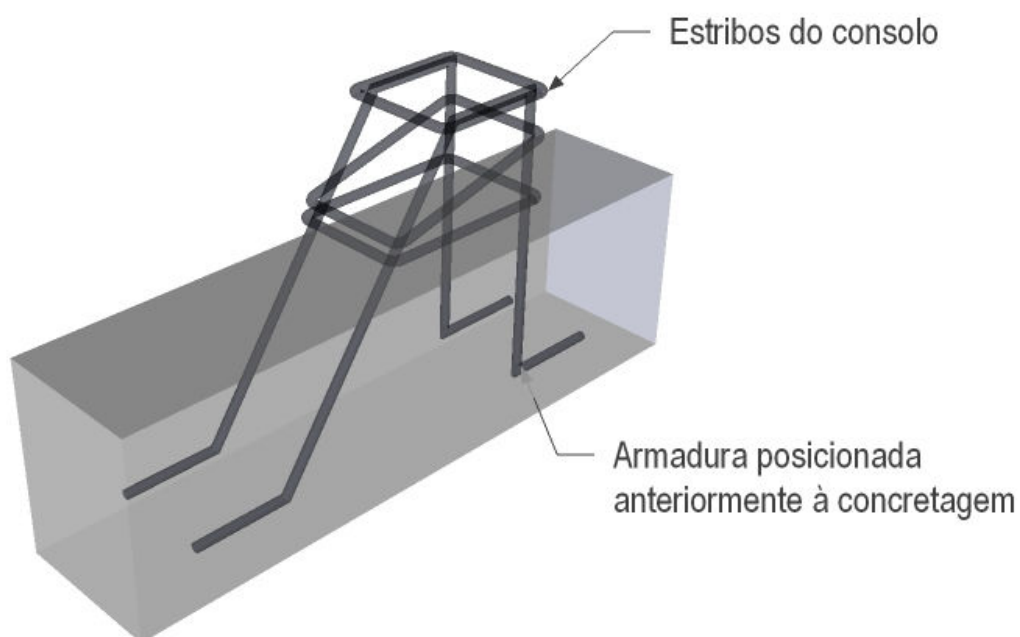


Figura 44 – Mesa de dobra  
Fonte: O autor, 2013.

Para o formato do consolo, existem dois modelos-padrão de armaduras, dependendo do modo executado, sendo que para o modo 1 a armadura é instalada na fôrma anteriormente à concretagem da peça, como pode ser observado na Figura 45.



**Figura 45 – Armadura do consolo após concretagem do pilar**  
Fonte: O autor, 2013.



**Figura 46 – Modelo de armadura empregado no modo 1**  
Fonte: O autor, 2013.

No modo 1 os estribos não possuem uma orientação, sendo dispostos aleatoriamente no comprimento do consolo. Para os demais modos, o consolo é composto de quatro barras de aço de diâmetro 12,5 mm, formando as armaduras principais e dois estribos de 5 mm de diâmetro. Sendo após a cura do pilar, fixadas as barras do consolo como descrito anteriormente. A localização dos furos é padrão, sendo respeitados o cobrimento da armadura e a bitola da barra utilizada na peça, de modo que os furos não coincidam com as armaduras da peça.

São executados quatro furos de  $\frac{1}{2}$ " , como visto na Figura 47, realizados com auxílio de furadeira, os quais posteriormente receberão as barras de aço.



**Figura 47 – Peça furada e barras utilizadas para confecção do consolo**  
Fonte: O autor, 2013.

Efetuados os furos, procede-se o preparo do adesivo estrutural, o qual é aplicado entorno da barra, na região que se projeta para dentro da peça, e em seguida as barras de aço são posicionadas com golpes de martelo, para que estas cheguem ao final dos furos. A Figura 48 apresenta as barras de aço já coladas.



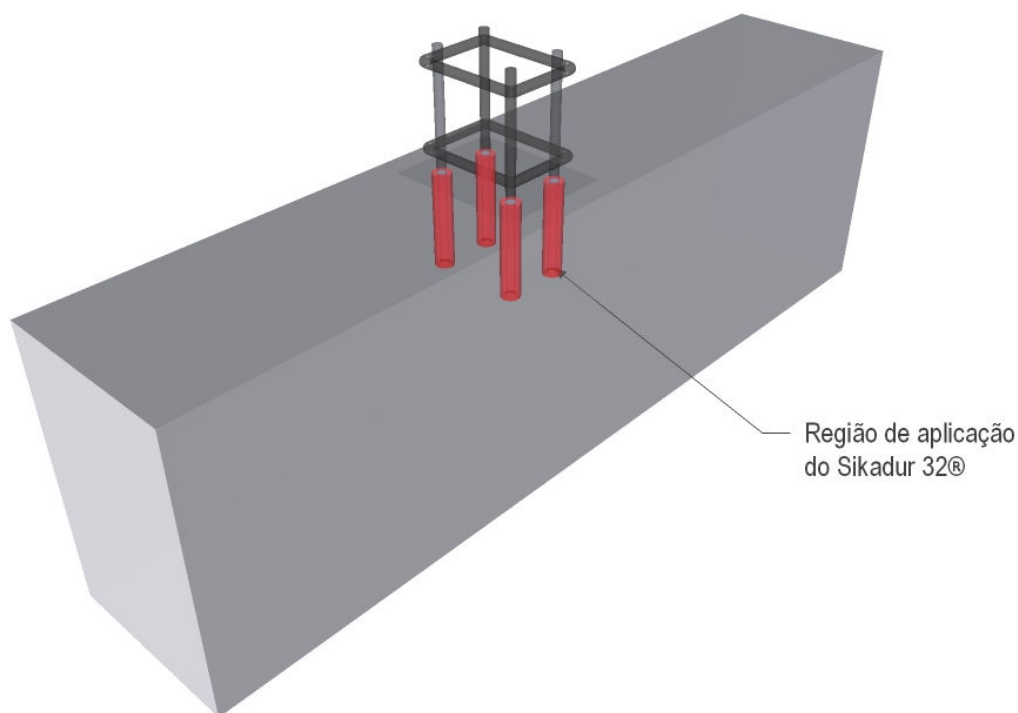
**Figura 48 – Barras de aço coladas com adesivo estrutural Sikadur 32®**  
Fonte: O autor, 2013.

Em seguida, faz-se a montagem dos estribos, estando o consolo pronto para concretagem, como apresentado na Figura 49.



**Figura 49 – Armadura dos modos 2, 3 e 4**  
Fonte: O autor, 2013

Na Figura 50 pode ser observado um esquema da armadura empregada nos modos 2, 3 e 4. A região vermelha representa a área das barras de aço onde é aplicado o adesivo estrutural Sikadur 32® a região de inserção das barras na peça.



**Figura 50 – Modelo de armadura empregada no modo 2**  
Fonte: O autor, 2013

### 6.2.3.1 Sikadur 32 ®

O adesivo estrutural à base de resina epóxi é produzido pela Sika®, segundo o fabricante foi especialmente formulado para ancoragens em geral e colagens de concreto velho com concreto novo e chapas metálicas ao concreto. Segundo SIKADUR32® (2011), as especificações para o uso do Sikadur® são:

- Temperatura de aplicação: Mín = +10° e Máx = +30°;
- Resistência à Compressão:
  - 1 dia = 60 MPa (25°C; 50% u.r.a);
  - 7 dias = 90 MPa (25°C; 50% u.r.a);
- Resistência à aderência:
  - Concreto: 18,4 MPa (14 dias);

- Concreto: 3,80 MPa (7 dias);
- Aço: 3,30 MPa (7 dias);
- Cura Inicial: 5 horas;
- Cura Final: 7 dias.

#### **6.2.4 Produção do concreto**

O concreto utilizado é produzido com auxílio de um misturador e a adição dos materiais é feita de forma manual, seguindo um traço estabelecido dosado em volume. A empresa não realiza nenhum tipo de controle de qualidade, mas busca formas de implantar o ensaio de resistência a compressão para testar o concreto produzido.

#### **6.2.5 Concretagem dos consolos**

Para qualquer um dos padrões de consolos, a concretagem se dá de forma semelhante, sendo instalado o molde metálico do consolo, o qual é untado com desmoldante e seu posicionamento obedecendo aos cobrimentos do consolo. Em seguida é realizada a concretagem, onde a vibração é feita por golpes e é dado o acabamento a peça com colher de pedreiro. O molde é retirado após o enrijecimento do concreto. A Figura 51 apresenta o molde utilizado no modo 1.



**Figura 51 – Molde utilizado no modo 1**  
Fonte: O autor', 2013.

A Figura 52 mostra o posicionamento e a concretagem do consolo empregado para os modos 2, 3 e 4, onde se pode observar a forma padrão do molde e a concretagem de consolo em etapa distinta.



**Figura 52 – Concretagem do consolo em etapa distinta**  
Fonte: O autor, 2013.

## **6.4 EMPRESA C**

A Empresa C atua também na região de Pato Branco e é considerada uma empresa de médio a grande porte. É uma empresa antiga no ramo de projeto e execução de estruturas pré-moldadas e também trabalha com projeto e execução de estruturas metálicas. Possui instalações amplas, tendo um grande volume de produção, o que conseqüentemente exige um processo eficiente de execução dos consolos.

### **6.4.1 Forma de execução dos consolos**

A Empresa C utiliza, na maioria da sua produção, fôrmas metálicas com dimensões fixas e com molde do consolo acoplado. Estes moldes podem ter suas posições modificadas de acordo com a localização do consolo no pilar. Quando se faz necessária a produção de pilares mais robustos, estes são fabricados em fôrmas de dimensões maiores, mas que não possibilitam a execução da armadura e concretagem do consolo no momento da concretagem do pilar. Serão apresentados os métodos utilizados para cada uma das situações.

No primeiro caso, no qual são utilizadas fôrmas com moldes previstos para o consolo, este processo permite concretar até quatro consolos de forma simultânea à concretagem do pilar que os apoia. Os moldes podem ter suas posições modificadas, permitindo uma maior utilização destes equipamentos.

Quando há necessidade de pilares com maior seção transversal, as fôrmas utilizadas no sistema anterior não satisfazem o processo, a solução encontrada foi a utilização de fôrmas com maiores dimensões, que não dispunham de moldes para consolos. Para a execução do elemento de apoio, optou-se por um método que permite que a região onde ficará localizada a armadura do consolo dentro do pilar seja preservada livre de concreto durante a concretagem deste pilar. Este processo consiste em fixar, antes da concretagem do pilar, um bloco de EPS (poliestireno expandido) no local onde será ancorada a armadura do consolo (Figura 53), em seguida procede-se a concretagem do pilar e a secagem do mesmo, para que

depois este bloco seja retirado, dando lugar a instalação da armadura definitiva do consolo. Por fim, concretiza-se o elemento com utilização de molde móvel.

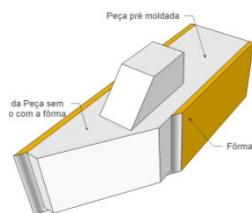
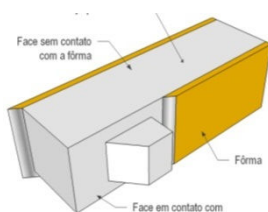
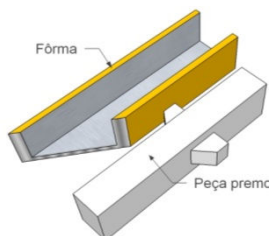


**Figura 53 – Utilização do bloco de EPS para produção do consolo (Empresa C)**  
Fonte: O autor, 2013.

Tal processo, com uso do EPS, é aplicado não só quando é necessária a utilização das fôrmas com maiores dimensões, mas também quando, por algum motivo, não é possível a instalação da armadura do consolo antes da concretagem do pilar, sendo o método de produção idêntico, independente da quantidade de consolos no pilar.

#### **6.4.2 Modos de execução dos consolos**

Para a empresa C, existem dois sistemas de execução utilizados para a produção do consolo, como citado anteriormente, a forma de execução para cada um dos modos de configuração do consolo no pilar é detalhada a seguir.

**Modo 1****Modo 2****Modo 3**

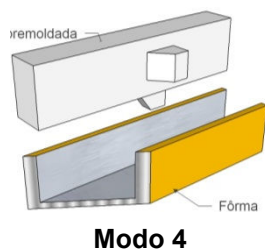
➤ **Modo 1:** Para o modo 1 (figura ao lado), é instalada a armadura do consolo em seu local definitivo, em seguida é posicionado o molde para este elemento, procedendo-se a concretagem de consolo e pilar. Processo semelhante ao utilizado pelas outras empresas em estudo.

➤ **Modo 2:** No modo 2 (figura ao lado), as fôrmas possuem moldes fixos para o consolo, sendo a forma de execução simples, na qual instala-se a armadura dos consolos juntamente com a armadura do pilar e concretase a peça como um todo. Quando se faz necessário o uso do EPS, o processo de produção utilizado segue o detalhado no item anterior.

➤ **Modo 3:** No modo 3 (figura ao lado), o processo é semelhante ao modo 2, apenas com mudança na configuração das armaduras, esta mudança será detalhada no item referente às armaduras. Na execução deste modo a concretagem engloba consolos e pilares. A Figura 54 apresenta as armaduras para os 2 consolos em faces opostas, observando-se o sistema de moldes para este elemento, que são fixos na forma do pilar. Assim, como no modo 2, a utilização do método do EPS pode ser executada da mesma maneira.



**Figura 54 – Consolos armados e localizados na fôrma - modo 2 (Empresa C)**  
 Fonte: O autor, 2013.



- Modo 4: Para o modo 4 (figura ao lado), a fôrma possui os moldes para consolos que podem ser instalados inclusive na face inferior da fôrma, assim, o processo é idêntico aos modos 1, 2 e 3. Quando este molde de fundo não pode ser instalado, o método utilizado é o método do EPS, assim como para os outros modos.

### 6.4.3 Preparo e detalhamento das armaduras

A empresa C conta com equipamentos para corte e dobra de armaduras, que facilitam no processo de produção dos elementos pré-moldados. A Figura 55 mostra a máquina utilizada para produção dos estribos, ainda são utilizadas máquinas para corte das barras de maiores bitolas.



Figura 55 – Máquina de corte e dobra de armaduras (Empresa C)  
Fonte: O autor, 2013.

Para os dois processos de execução de consolos utilizados pela Empresa C, serão apresentados os respectivos detalhamentos das armaduras.

Para a armadura executada nas fôrmas fixas, com os moldes para consolo ajustáveis, existem dois métodos de montagem, quando existem dois consolos em faces opostas, como apresentado na Figura 56, a armadura é composta de duas barras com bitola que varia de acordo com o carregamento da estrutura, estas barras são dobradas de modo que dão forma às armaduras dos dois consolos. O número de estribos é padrão, num total de 4 unidades.



**Figura 56 – Armaduras executadas para fôrmas fixas com molde para pilar com três consolos (Empresa C)**

Fonte: O autor, 2013.

Quando existe apenas 1 consolo, a barra é dobrada como um gancho, havendo um dobra para ancoragem, que pode ser observada também pela Figura 56. A bitola da barra varia de acordo com o carregamento e o número de estribos também tem um total de 4 barras.

Porém, quando os métodos acima não podem ser utilizados, a armadura que compõe o consolo instalado a partir do bloco de EPS possui dobra semelhante ao consolo do modo 1, diferenciado apenas por mais uma dobra de ancoragem agora na outra extremidade da barra.

#### 6.4.4 Produção do concreto

A empresa conta com uma central de dosagem para a produção do concreto, com utilização de traço em massa, fatores que contribuem para a qualidade do concreto e dão confiabilidade ao produto final. A Figura 57 apresenta a área destinada a produção do concreto na Empresa C.



Figura 57 – Central de dosagem para produção de concreto  
Fonte: O autor, 2013.

#### 6.4.5 Concretagem dos consolos

A empresa conta com o auxílio de uma ponte rolante, que juntamente com o funil da central de concreto, facilita o processo de concretagem dos elementos, a concretagem em simultâneo do consolo com o pilar. No caso do EPS, o elemento de apoio é concretado posteriormente. A Figura 58 apresenta o momento da concretagem dos consolos.



**Figura 58 – Concretagem dos consolos**  
Fonte: O autor, 2013.

#### 6.4 EMPRESA D

A empresa D atua na região produzindo obras de pequeno, médio e grande porte, atendendo ao projeto e execução de estruturas desde barracões a edifícios de até quatro pavimentos.

#### 6.4.1 Forma de execução dos consolos

Para as situações corriqueiras, a empresa desenvolve o projeto estrutural das peças, porém os consolos, segundo responsável técnico, não são dimensionados, seguindo modelos padrões de armaduras, não havendo uma discretização maior quanto ao cálculo e detalhamento sobre estes elementos. Contudo, há uma diversificação quanto às armaduras destes elementos, sendo que para cargas diferenciadas, são variadas as bitolas e quantidades de barras de aço empregadas na sua confecção.

A empresa busca a execução das peças pré-moldadas em uma única concretagem, não sendo adepta da execução em etapas distintas. O método de produção caracteriza-se pelo emprego de fôrmas de madeira, contudo, em um primeiro plano, visa-se a produção dos elementos em fôrmas metálicas, sendo executadas em fôrmas de madeira apenas as peças que não se enquadram nos padrões de fôrmas metálicas disponíveis no canteiro da empresa. Na figura 59 e na Figura 60 podem ser observadas as fôrmas empregadas na produção das peças.



**Figura 59 – Fôrmas de madeira**  
**Fonte: O autor, 2013**



**Figura 60 – Fôrmas metálicas**  
**Fonte: O autor, 2013**

O representante da empresa destacou que já foi utilizado outro método para a produção, sendo realizado processo em etapas distintas com o auxílio de poliestireno expandido, buscando emprego de fôrmas metálicas. Porém, dadas as condições de retrabalho, demora no acabamento das peças e danos à qualidade de acabamento e resistência das peças, provocadas pelo processo, houve a ideia de execução em fôrmas de madeira, procedimento que foi testado e implantado na empresa e é empregado atualmente.

#### **6.4.1.1 Sistema de fôrmas de madeira**

O sistema consiste em um conjunto de cavaletes de madeira posicionados de forma a facilitar a montagem das fôrmas para as peças pré-moldadas. Sendo composto por uma sequência de cavaletes fixos no chão, com a travessa em nível, com 30 cm de altura e 6,00 a 7,00 metros de largura, alocados lado a lado no mesmo nível por 15,00 metros, espaçados de 50 cm, como se observa na Figura 61.



**Figura 61 – Cavaletes inferiores**  
Fonte: O autor, 2013

Nos cavaletes inferiores são fixados outros cavaletes em prumo, tendo como função dar suporte e orientar o posicionamento de uma das laterais da fôrma. Na Figura 62 podem-se observar o conjunto de cavaletes.



**Figura 62 – Conjunto de cavaletes**  
Fonte: O autor, 2013

Sobre este sistema de cavaletes e nas laterais do cavalete superior são posicionadas madeiras que servem de guias para suporte do leito e uma das laterais, como visto na figura 63.



**Figura 63 – Conjunto de cavaletes, guias, lateral e leito**  
Fonte: O autor, 2013

A outra lateral da fôrma é posicionada com auxílio de travessas pregadas sobre esta, as quais servem para dar suporte às gravatas e impedir empenamento da lateral, como se vê na Figura 64. Então, é realizado o encunhamento da parte inferior desta lateral para impedir seu deslocamento sem uso de pregos diretamente sobre a lateral, como se vê na Figura 65. Eventualmente nesta lateral livre são utilizadas escoras para melhorar a sua fixação.



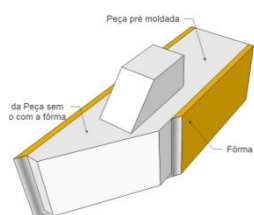
**Figura 64 – Segunda lateral posicionada**  
Fonte: O autor, 2013



**Figura 65 – Detalhe do encunhamento entre guia e travessa na base lateral da fôrma**  
Fonte: O autor, 2013

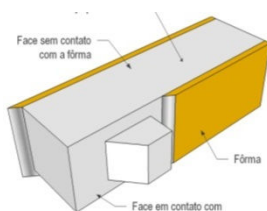
Por este sistema são produzidas as peças que não se enquadram nas fôrmas metálicas que a empresa possui.

#### 6.4.2 Modos de execução dos consolos



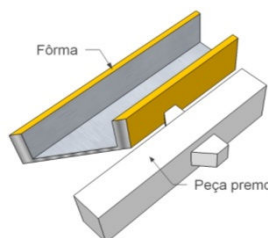
**Modo 1**

➤ Modo 1: Para o modo 1 (figura ao lado), a empresa utiliza fôrmas metálicas, montando todo o conjunto de armaduras e com auxílio de fôrmas de madeira móveis para os consolos, concreta-se toda a peça em uma única etapa.



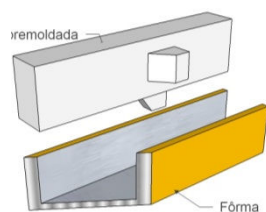
**Modo 2**

➤ Modo 2: Para o modo 2 (figura ao lado), a empresa utiliza as fôrmas de madeira. A armadura do consolo é posicionada com a ancoragem necessária e a fôrma de madeira é produzida juntamente com as fôrmas do pilar já com as dimensões definitivas.



**Modo 3**

➤ Modo 3: Para este modo (figura ao lado), o procedimento é semelhante ao modo 2, sendo executadas as armaduras dos consolos existentes e produzida a fôrma de madeira com posições e dimensões definitivas.



**Modo 4**

➤ Modo 4: No modo 4 (figura ao lado), o processo se mantém o mesmo, sendo as fôrmas produzidas em madeira e as armaduras instaladas de acordo com a localização destes consolos em relação ao pilar.

### 6.4.3 Preparo e detalhamento das armaduras

O corte e dobra das armaduras transversais (estribos) e longitudinais são realizados por equipamento mecanizado, como apresentado na Figura 66, e então estas são amarradas como se observa na Figura 67.



Figura 66 – Máquinas de corte e dobra de aço  
Fonte: O autor, 2013



Figura 67 – Bancada de montagem  
Fonte: O autor, 2013

Como descrito anteriormente há um padrão para as armaduras dos consolos executados pela empresa, sendo o carregamento ao qual este está sujeito, levado em consideração no momento de definir as bitola e quantidades de barras empregadas, e ainda a necessidade de mística ou não. Tal configuração é composta por duas ou três barras de aço de diâmetro variável e dois ou três estribos de diâmetro 6,3 mm, como apresentado nas Figuras 68 e 69.



**Figura 68 – Armadura para consolo cubico**  
Fonte: O autor, 2013



**Figura 69 – Armadura para consolo misalado**  
Fonte: O autor, 2013

#### **6.4.4 Produção do concreto**

A empresa conta com uma central de dosagem (Figura 70), onde se dá a produção de todo o concreto utilizado no canteiro da indústria. Contudo, a empresa não faz ensaios correntes para acompanhamento das características do concreto executado.



**Figura 70 – Central dosadora de concreto**  
Fonte: O autor, 2013

#### 6.4.5 Concretagem dos consolos

Para todos os modos, 1, 2, 3 e 4, a concretagem dos consolos e da peça ocorre de forma simultânea, como mostrado na Figura 71.



Figura 71 – Concretagem de peça e consolos em única etapa  
Fonte: O autor, 2013

#### 6.5 EMPRESA E

A Empresa E é uma empresa de pequeno porte atuante principalmente no oeste catarinense há cerca de 7 anos, que executa estruturas de pré-moldados para barracões e edifícios de até 4 pavimentos e coberturas em estrutura metálica. A empresa passa por um processo de crescimento, sendo que a fábrica está sendo ampliada e o processo utilizado para a execução dos consolos já se mostra deficiente, por isso, a empresa vem aplicando um novo método em algumas ocasiões que serão explanadas as seguir.

### 6.5.1 Forma de execução dos consolos

O sistema de fôrmas utilizado para a produção dos elementos pré-moldados é o de fôrmas metálicas, que são construídas pela própria empresa. Segundo responsável, a ideia foi desenvolver um sistema em que as fôrmas pudessem ser ajustadas quanto à posição dos consolos, com laterais móveis e de menores comprimentos, permitindo aberturas na extensão da fôrma para o posicionamento das fôrmas dos consolos. Desta forma é possível concretar os consolos juntamente à peça, sem limitações de posicionamento do mesmo ou necessidade de uma segunda etapa de concretagem. A Figura 72 apresenta a fôrma com os pontos de abertura onde se dá a instalação do molde do consolo e nas Figuras 73 e 74 observam-se os moldes do consolo utilizados para concretagem.



**Figura 72 – Fôrmas com pontos de abertura para moldes de consolo**  
Fonte: O autor, 2013.



**Figura 73 – Molde para consolo localizado na face lateral do pilar para concretagem**  
Fonte: O autor, 2013.



**Figura 74 – Molde para consolo localizado na face superior do pilar**  
Fonte: O autor, 2013.

O processo de montagem e desmontagem das fôrmas para adaptação dos consolos de cada pilar deteriora rapidamente as fôrmas, visto que há uma grande variação de posicionamento existindo a necessidade do corte das laterais da fôrma para possibilitar a execução do elemento, diminuindo significativamente a vida útil destas fôrmas, acarretando um aumento dos custos com manutenção, montagem e desmontagem de fôrmas, sendo estes, segundo o responsável, os motivos do desejo de substituição do método para outro que não exija alterações nas fôrmas.

A empresa utiliza três padrões de dimensões para os consolos, as quais são 15x15x15 cm, 15x15x20 cm, 15x15x25 cm, sendo largura, profundidade e altura respectivamente.

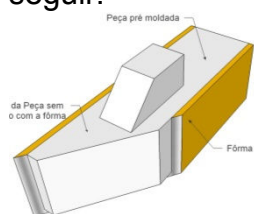
A concretagem em etapa única é o procedimento padrão adotado para consoles retangulares, modelo utilizado na maior parte das estruturas.

Porém, devido a especificações de projetos, onde se necessitam consoles misulados, este método não se aplica às fôrmas disponíveis nesta indústria. Ainda visto o posicionamento adotado e fixação do leito das fôrmas, não é possível a execução em única etapa de consolos situados na face inferior das peças concretadas.

Diante destes dois problemas a empresa decidiu empregar um método diferenciado para estas ocasiões, o qual é descrito no item a seguir, como modo 4.

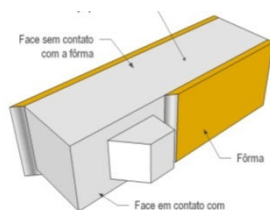
### 6.5.2 Modos de execução dos consolos

Os modos de execução empregados pela empresa são apresentados a seguir.



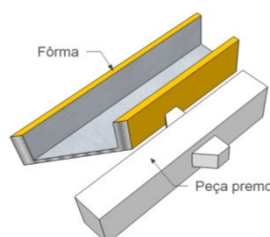
**Modo 1**

- Modo 1: Para o modo 1 (figura ao lado), é fixada à armadura do pilar e o molde para este consolo é fixado à fôrma, sendo possível a ancoragem das barras e a concretagem única de todos os elementos.



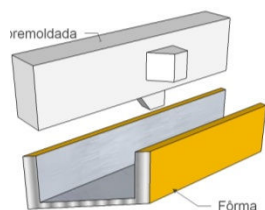
**Modo 2**

- Modo 2: Para o modo 2 (figura ao lado), é realizada a adaptação da fôrma para recebimento do consolo, o que também permite a ancoragem das barras e possibilita uma única concretagem da peça.



**Modo 3**

- Modo 3 (figura ao lado): Dá-se de forma semelhante ao modo 2, sendo apenas instalados dois moldes para consolo e posicionadas as armaduras correspondentes. A concretagem de todas as peças é simultânea.



**Modo 4**

➤ Modo 4: Para este modo (figura ao lado), foi adotado o emprego de uma segunda concretagem. O processo de execução do consolo lateral é igual para o modo 2, já para o consolo da parte inferior, após desforma do pilar, são realizados furos no local onde serão instaladas as barras de aço, as quais são fixadas com auxílio do adesivo estrutural à base de resina epóxi, o Sikadur32®. São então posicionados os estribos, o molde é instalado, e em seguida é realizada a concretagem do elemento.

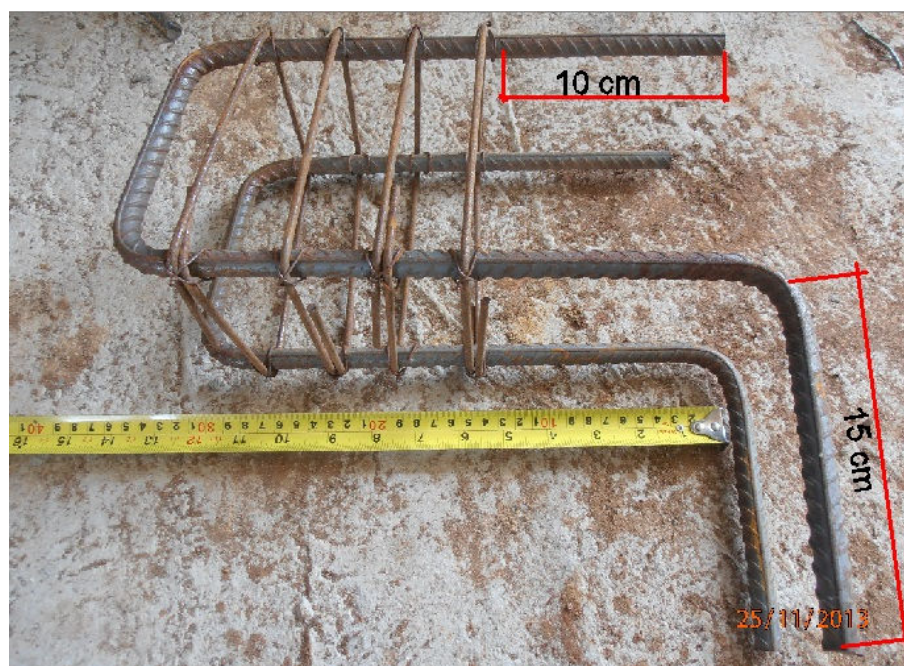
### 6.5.3 Preparo e detalhamento das armaduras

O corte e dobra das armaduras para consolos é executada de forma manual, sem auxílio de equipamento mecanizado. A Figura 75 mostra a mesa de corte e dobra . As amarrações são executadas em mesa independente.



**Figura 75 – Mesa para corte e dobra do aço**  
 Fonte: O autor, 2013.

A configuração das armaduras utilizadas pela empresa varia de acordo com o carregamento das peças, mas sempre seguindo um mesmo padrão de dobra das barras, neste padrão são utilizados de quatro a oito barras de aço de 12,5 mm, sempre em números pares, com estribos de 5 mm em quantidade de três a cinco. É utilizado um valor padrão de 10 cm para profundidade da barra que entra no pilar e 15 cm para o comprimento da dobra que é realizada para ancorar o consolo, sendo a dobra posicionada na parte superior do consolo. A Figura 76 apresenta uma armadura usual da empresa, contando com 2 barras de 12,5 mm e 4 estribos de 5 mm, bem como as dimensões de dobra da peça.



**Figura 76 – Detalhamento da armadura do consolo**  
Fonte: O autor, 2013.

Para o modo 4 e consolos misulados, os quais são diferenciados da execução mais corriqueira, são executados de quatro à seis furos no pilar, e fixadas barras de aço de 12,5 mm ou 16 mm de diâmetro em cada um destes, sendo as barras coladas com o adesivo Sikadur32®, em seguida são instalados os estribos de 5 mm de diâmetro. A quantidade de barras e espessura das mesmas são definidas em função do carregamento ao qual o consolo será submetido dentro do intervalo citado.

Em relação ao pino de ligação entre o consolo e a viga, a execução do furo no consolo que receberá este pino é realizada posteriormente à concretagem, com a utilização de furadeira, o furo tem 12,5 mm de diâmetro e após o apoio da viga sobre o consolo, é instalado o pino para melhorar o desempenho da ligação entre ambos.

#### **6.5.4 Produção do concreto**

Quanto à forma de produção de concreto, a empresa optou por utilizar um misturador (Figura 77), produzindo concreto dosado em volume, e os materiais são dispostos próximos ao misturados em montes, ficando expostos às intempéries. O cimento utilizado é o CPV-ARI – Cimento de alta resistência inicial, não sendo realizado nenhum tipo de controle quanto as características do concreto.



**Figura 77 – Misturador para produção de concreto**  
Fonte: O autor, 2013.

#### **6.5.5 Concretagem dos consolos**

O concreto utilizado não difere para as peças ou para os consolos sendo lançado com auxílio de ponte rolante. A Figura 78 apresenta as peças concretadas em simultâneo.



**Figura 78 – Concretagem dos consolos em simultâneo com o pilar**  
**Fonte: O autor, 2013.**

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estruturas pré-moldadas vem sendo cada vez mais utilizadas na construção civil, não só nas estruturas de barracões industriais, mas também em obras comerciais e até mesmo residenciais. À medida que aumenta a complexidade da obra, aumenta também a necessidade de processos que resultem em um produto de qualidade, confiável e que contribua para aumentar a produtividade da empresa.

Diante destes fatos presentes nas obras e fábricas de pré-moldados hoje, o elemento consolo, em estudo neste trabalho, corresponde a uma fase crítica da produção, requerendo um processo executivo diferenciado e, que muitas vezes, não satisfaz completamente as exigências impostas, seja por produção, seja pelas especificações presentes nas normas ou até mesmo em relação ao dimensionamento visando a segurança estrutural.

A seguir, são analisados os dados referentes às formas de execução adotadas, em relação ao tempo e ao custo de produção; a segurança estrutural deste elemento em relação a disposição das armaduras, verificação da conformidade com a norma ou não e a segurança do concreto produzido, entre outros detalhes referentes ao processo executivo.

### 7.1 Análise em relação ao processo de execução

A discussão em relação ao processo executivo das empresas abrange a complexidade da execução do consolo, as diferenças de custo de produção e o tempo em que tais elementos levam para ser concretados.

➤ **Empresa A:** Na empresa A existe um processo que é definitivo, padrão e vem sendo usado há bastante tempo o que propicia um domínio do método executivo e um planejamento deste processo. Como a empresa tem muitos anos de trabalho e é considerada de grande porte, dispõe de uma grande quantidade de fôrmas, permitindo o planejamento da localização destas, em relação a montagem

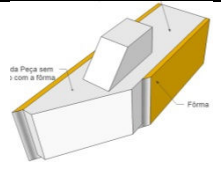
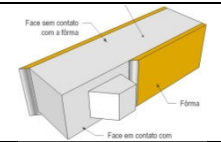
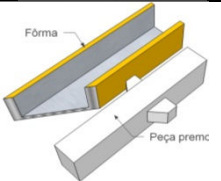
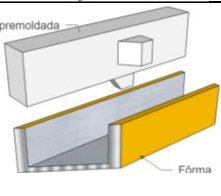
da armadura e concretagem do pilar, a movimentação da peça concretada, e a montagem da armadura e concretagem dos consolos, nesta ordem.

Outra característica da empresa é a grande escala de produção, o que acarreta em processos mais rápidos e a disponibilidade de um número maior de fôrmas para vencer a demanda do comércio.

A empresa A possui então um sistema de produção que é facilitado devido a grande disponibilidade de espaço físico e quantidade de fôrmas, sendo que o local de produção dos consolos é amplo e em condições ergonômicas aceitáveis como, por exemplo, os pilares que receberão os consolos são localizados próximos uns aos outros e a uma altura de aproximadamente 1,20 m do piso, desta forma o funcionário que produz o consolo faz o serviço em pé, sem necessidade de abaixar-se ou locomover-se de forma exagerada. A concretagem é realizada com auxílio da ponte rolante acelerando o serviço. Estes quesitos são responsáveis por uma maior produção de elementos pré-moldados num menor período de tempo em relação a uma empresa que não possui esta infraestrutura de produção.

Em relação à forma de execução do consolo em si, o processo é simples e não tem interferência com a produção do restante do pilar, as considerações referentes a cada modo de execução são apresentadas no Quadro 3.

**Quadro 3 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa A**

Modo de Execução	Análise da execução
Modo 1 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A armadura do consolo é executada antes da concretagem do pilar, sendo pilar e consolo concretados juntos (Figura 33);</li> <li>- O Processo é simplificado;</li> <li>- Execução semelhante às outras empresas.</li> </ul>
Modo 2 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A utilização do dispositivo de fixação das barras lisas dentro do pilar proporciona uma melhor precisão na localização do furo (Figura 30);</li> </ul>
Modo 3 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A utilização das barras lisas facilita o processo posterior de fixação das barras definitivas do consolo (Figura 31);</li> <li>- A fixação das barras com graute proporciona uma ancoragem às barras, mesmo que de forma empírica.</li> </ul>
Modo 4 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Neste modo o método executado é o de perfurar o pilar com auxílio de furadeira, diminuindo a precisão se comparado aos outros modos;</li> <li>- A fixação das barras com graute proporciona uma ancoragem às barras, embora não ofereça a mesma ancoragem que o concreto.</li> </ul>

Fonte: O autor, 2013.

Analisando a viabilidade econômica desta forma de execução, o fato de as fôrmas serem metálicas corresponde a um grande número de reutilizações e substituição destes equipamentos a um longo período de tempo, levando em conta que o processo não exige adaptação das fôrmas em relação aos consolos, não causando danos ao equipamento. O molde para a concretagem do consolo possui formas de fixação práticos, por meio de furos no próprio pilar ou sistema de parafusos e porcas de um molde que contém fixação que “abraça” o pilar, também sendo conservados e podendo ser utilizados inúmeras vezes.

O custo com a produção do dispositivo de fixação das barras lisas é irrelevante, pois, a cada consolo é utilizado um pequeno comprimento de barra 4,2 mm e 4 espaçadores. O consumo de barras de aço para a armadura principal e para os estribos não varia muito em relação às outras empresas.

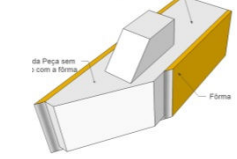
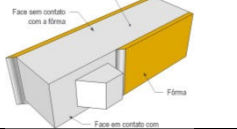
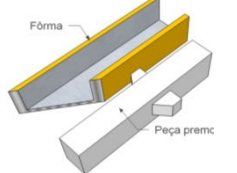
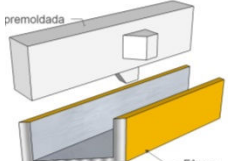
➤ **Empresa B:** A empresa B possui um sistema produtivo ainda em desenvolvimento e conta com instalações provisórias, não tendo um planejamento definido do espaço físico da fábrica. Porém, possui um método executivo definitivo no que diz respeito aos consolos e busca padronizar sua linha de produção.

Como relatado no item 6.2, foram adotadas duas configurações de consolos padrão, o que pode, a partir do momento em que a empresa dispuser de meios para um planejamento das etapas da produção, ser favorável à otimização do processo executivo, ocasionando um menor tempo de produção e um desenvolvimento da metodologia executiva adotada.

A falta de definição do espaço de produção ocasiona algumas complicações na questão ergonômica e na facilidade da execução do elemento, o espaço da fábrica destinado a produção de consolos é localizada numa área descoberta e os pilares ficam dispostos no chão aguardando a execução do elemento de apoio. O trabalhador tem então certa dificuldade de locomoção durante o serviço, acarretando num maior tempo de execução, pois diminui a produtividade da mão de obra e ainda pode causar algum dano físico. Porém, levando em conta que não é fabricado um grande número de pilares e consolos numa constância diária, o serviço não é considerado repetitivo, de modo que o trabalhador reserva parte de seu tempo em determinado dia para executar estes elementos. Lembrando ainda que a empresa está se adaptando e melhorando suas instalações.

O Quadro 4 apresenta uma análise do processo executivo utilizado pela empresa B para um dos modos de execução em estudo, sendo que para o modo 1, é utilizado o consolo padrão 1 e para o modo 2 é utilizado o consolo padrão 2.

**Quadro 4 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa B**

Modo de Execução	Análise da execução
Modo 1 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A armadura do consolo é executada antes da concretagem do pilar, sendo pilar e consolo concretados juntos (Figura 40);</li> <li>- O Processo é simplificado;</li> <li>- Execução semelhante às outras empresas.</li> </ul>
Modo 2 	
Modo 3 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É utilizada a furadeira para o posicionamento das barras do consolo, o processo é facilitado, mas há imprecisão no furo (Figura 41);</li> <li>- A fixação das barras com uso do Sikadur32® é um processo prático (Figura 42);</li> </ul>
Modo 4 	

Fonte: O autor, 2013.

Sendo assim, o processo executivo da empresa B é simples e definitivo, o que proporcionaria uma melhor produtividade. Porém, é importante um planejamento do espaço físico da fábrica, quando este aumento de produção for desejado.

Com relação ao custo de produção, o fato de as fôrmas e os moldes utilizados na produção dos elementos pré-moldados serem de material metálico, estes podem ser reutilizados muitas vezes, sem necessidade de reparos e gastos de manutenção. Mas o ponto relevante para a empresa B está na utilização do Sikadur32®, que possui um valor considerável e que precisa ser levado em conta no momento da composição do preço final da estrutura.

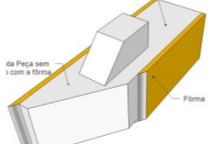
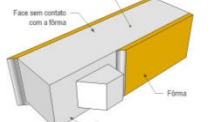
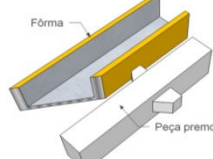
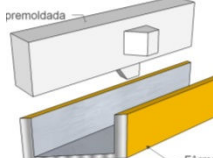
➤ **Empresa C:** A empresa C possui uma grande quantidade de equipamentos disponíveis, podendo melhorar sua produção à medida que isso se tornar necessário. Em relação à forma com que as etapas de produção estão organizadas, a central de concreto fica localizada próxima às fôrmas para

concretagem dos elementos e, levando em conta a proximidade com a ponte rolante, esta organização contribui bastante para a produção.

As fôrmas ficam dispostas uma ao lado da outra e a uma altura de 1,10 m do chão, o que facilita o serviço dos trabalhadores, que mexem com os elementos em uma posição em pé, adequada para o bem estar dos funcionários.

A facilidade de execução do método utilizado para cada modo, é apresentado no Quadro 5.

**Quadro 5 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa C**

Modo de Execução	Análise da execução
Modo 1 	
Modo 2 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monta-se e posiciona-se a armadura no local da concretagem, concretando-se a peça como um todo, apenas ajustando o molde para a concretagem do consolo (Figura 56);</li> </ul>
Modo 3 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O processo é simplificado;</li> <li>- A sistemática de execução segue o padrão normal da construção civil (sem necessidade de métodos diferenciados);</li> </ul>
Modo 4 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige cuidado com as fôrmas no momento de ajustar o molde, para não danificar a mesma.</li> </ul>
Alternativa com uso do EPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode ser utilizado em qualquer situação de produção de consolo;</li> <li>- Necessita total remoção do EPS no interior da peça;</li> <li>- O processo não se mostra mais complexo que os outros exemplos.</li> </ul>

Fonte: O autor, 2013.

Quanto ao custo, as fôrmas metálicas representam economia devido ao número de reutilizações, o EPS não tem custo elevado para ser um fator relevante, sendo que no restante das etapas do processo não existem situações muito adversas que possam causar uma mudança de valor significativo.

➤ **Empresa D:** A empresa D possui o método executivo para consolos que mais difere em relação às outras empresas, o diferencial é a utilização de

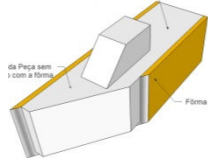
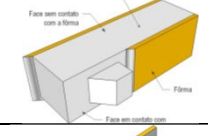
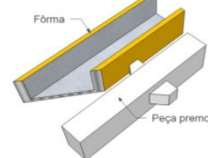
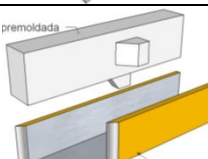
fôrmas de madeira, sendo possível a execução do pilar independente da quantidade de consolos necessários. Quando existe apenas um pilar na face superior, ou seja, no modo 1, este é executado em fôrma metálica, mas sem impedimentos em relação a montagem da armadura e a concretagem da peça.

Para a execução dos consolos com as fôrmas de madeira, é necessária, uma equipe de carpintaria para montagem das peças. As fôrmas, no momento da execução, ficam localizadas a uma altura de 40 cm do chão, fazendo com que os trabalhadores precisem de movimentos maiores como abaixamentos e levantamentos, este fato pode diminuir o rendimento da equipe e até apresentar algum dano físico ao funcionário.

Por outro lado, a sistemática de produção é planejada, tendo um local adequado para montagem da armadura de pilar e consolos, um espaço considerável para montagem das fôrmas e facilidade no momento da concretagem das peças. Levando em conta que a empresa tem uma produção considerável, é importante que haja alguma preocupação em relação a otimização do processo executivo.

Os modos de execução são apresentadas no Quadro 6.

**Quadro 6 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa D**

Modo de Execução		Análise da execução
Modo 1		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monta-se e posiciona-se a armadura no local da concretagem, concretiza-se a peça como um todo, apenas ajustando o molde para a concretagem do consolo;</li> <li>- O processo é simples e semelhante ao utilizado nas outras empresas;</li> <li>- As fôrmas metálicas correspondem a um número maior de utilizações do equipamento e um melhor controle de dimensões, se os devidos cuidados forem tomados no manuseio.</li> </ul>
Modo 2		<ul style="list-style-type: none"> <li>- A sistemática de execução segue o padrão normal da construção civil (sem necessidade de métodos diferenciados), sendo o processo realizado em uma só etapa (Figura 59);</li> <li>- Necessidade de uma equipe de carpintaria;</li> <li>- Maior consumo de material para fabricação das fôrmas;</li> <li>- Flexibilidade em relação a formato de consolos;</li> <li>- Ambos os processos para a empresa D são simplificados.</li> </ul>
Modo 3		
Modo 4		

Fonte: O autor, 2013.

Em relação ao custo, para o processo utilizado para o modo 1, semelhante entre as empresas, o custo também não é diferenciado. Quanto ao processo que tem como diferencial a produção das fôrmas de madeira, a necessidade de profissionais da carpintaria representa um custo que não existe se comparado às outras empresas, porém, a eliminação das etapas seguintes provoca uma diminuição de custo, cabendo análise mais especificada sobre tal processo. O maior consumo de material para fabricação das fôrmas gera um custo maior, levando em conta que a madeira tem um número baixo de reutilizações.

➤ **Empresa E:** A empresa E passa por uma fase de ampliação de suas instalações e, segundo informação do responsável técnico, pretende mudar o método de execução dos consolos, sendo que algumas destas mudanças já aconteceram. A análise sobre o processo utilizado aponta os motivos determinantes para tais alterações.

O processo adotado pela empresa E, consiste na adaptação das fôrmas metálicas de acordo com a posição definitiva do consolo no pilar, os responsáveis pela execução devem inicialmente estudar a fôrma para em seguida adaptá-la em relação ao projeto, seguindo com a execução da armadura e da concretagem da peça.

Quanto à alteração que já foi implantada na empresa, antes os consolos que se localizavam na face inferior da fôrma, modo 4 segundo este estudo, tinham instalação semelhante aos demais consolos, executava-se um furo na fôrma e instalavam-se o molde e a armadura, sendo que a concretagem era feita em uma só etapa, concretando-se todos os consolos e pilar de uma só vez. O processo foi modificado devido ao fato de que a fôrma antes era móvel, apoiada da forma que fosse mais conveniente, e agora esta é chumbada em altura fixa, gerando a necessidade de mudança no processo construtivo deste único elemento.

Desta forma, existem 2 modelos de consolos sendo executados pela empresa E.

Em relação ao modelo no qual as fôrmas metálicas são adaptadas e montadas conforme o projeto, incluindo os consolos que se enquadram nos modos 1, 2 e 3, pode-se analisar, em relação ao tempo de execução do processo, a montagem da fôrma que demanda tempo, mas em contrapartida não há etapas a serem executadas após a desforma do pilar já seco. A utilização da ponte rolante

também facilita o processo de concretagem e movimentação das peças. Quanto a questão ergonômica, na empresa E, as fôrmas ficam localizadas a poucos centímetros do piso (Figura 79) fazendo com que o trabalhador tenha que se abaixar para executar o serviço de montagem da fôrma e montagem dos consolos, isso consome mais tempo por parte da mão-de-obra, além de que, pode causar algum dano físico.

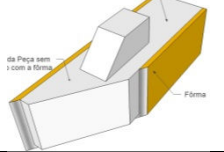
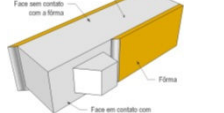
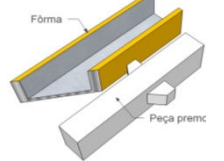
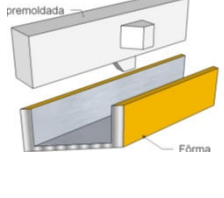


**Figura 79 – Localização das fôrmas para instalação das armaduras e moldes dos consolos (Empresa E)**  
Fonte: O autor, 2013.

Quanto ao modelo executado para o consolo que se localiza no fundo da fôrma do pilar, onde são executados furos com furadeira e coladas as barras definitivas do consolo com Sikadur32®, o tempo de execução desta etapa não varia em relação as outras empresas que executam processos semelhantes. Os pilares também ficam dispostos no piso para a execução desta etapa e a movimentação destes elementos é executada com ponte rolante, facilitando o processo.

O Quadro 7 apresenta a análise realizada em relação aos modos de execução para a empresa E.

**Quadro 7 – Análise do processo executivo para cada modo de execução – Empresa E**

Modo de Execução	Análise da execução
Modo 1 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A fôrma metálica é ajustada para cada consolo, a cada altura necessária, a movimentação sem o devido cuidado causa danos ao equipamento e diminui sua vida útil;</li> <li>- A armadura do consolo é executada antes da concretagem do pilar, sendo pilar e consolo concretados juntos (Figura 78);</li> <li>- Processo é simplificado;</li> <li>- É utilizada a furadeira para o posicionamento das barras do consolo, o processo é facilitado, mas há imprecisão no furo;</li> <li>- A fixação das barras com uso do Sikadur32® é um processo prático;</li> <li>- Execução semelhante às outras empresas</li> </ul>
Modo 2 	
Modo 3 	
Modo 4 	

Fonte: O autor, 2013.

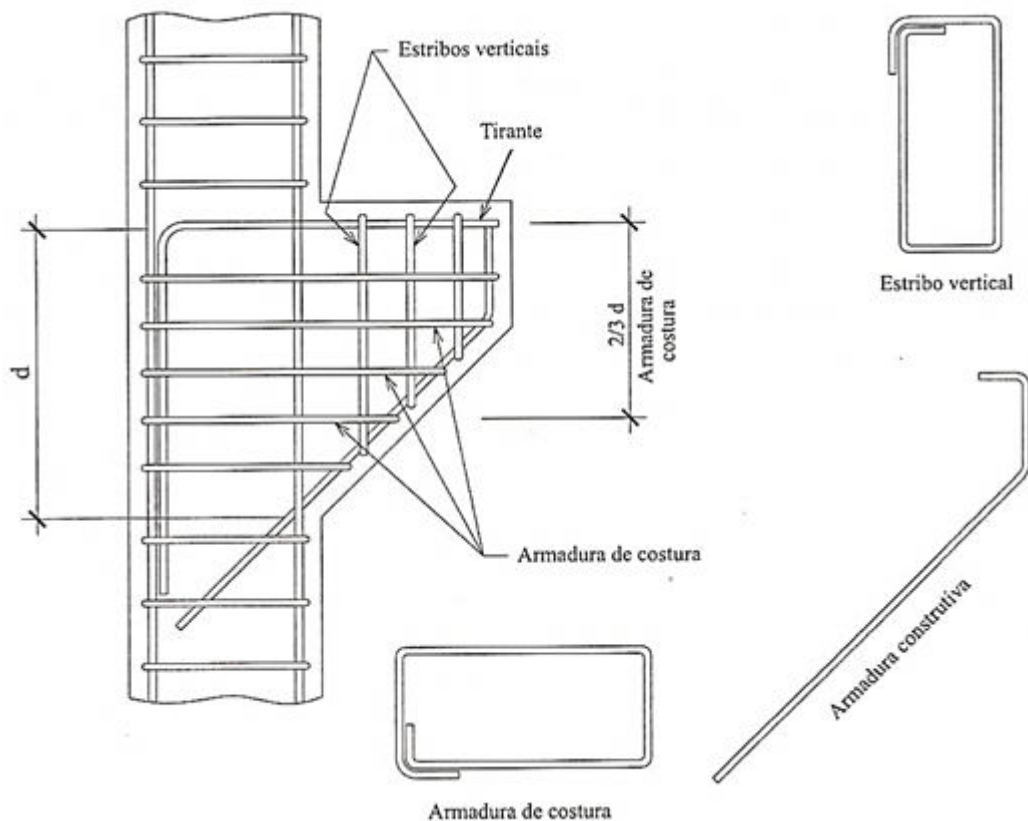
A partir da análise dos modos em que as fôrmas metálicas são ajustadas, observa-se que a montagem e desmontagem corriqueira deterioram o equipamento, anulando uma das maiores vantagens do uso da fôrma metálica, a longa vida útil com um número elevado de utilizações, este fato foi o que impulsionou o desejo da empresa em mudar o processo de execução utilizado.

A reposição de fôrmas num tempo bem menor que o normal para o material metálico gera um maior custo de produção, assim como a utilização do Sikadur32®, que também deve ser levada em conta. Entre os outros custos de produção, todos são semelhantes às outras empresas analisadas.

## 7.2 Análise em relação a segurança estrutural

A segurança estrutural analisada neste estudo é relativa ao método de execução do consolo e considera a presença dos tipos de armaduras necessárias segundo a norma de dimensionamento NBR 9062:2006, exemplificadas pelo Anexo 2, presentes no referencial teórico deste trabalho e ilustradas pela Figura 80.

Considera ainda as condições de ancoragem do consolo executado e as condições do concreto depois da concretagem.



**Figura 80 – Tipo de armaduras no consolo recomendados pela NBR 9062:2006**  
**Fonte: NBR 9062:2006.**

A proposta deste trabalho, não engloba ensaio para verificações de características de cada consolo, assim, a análise estrutural será baseada em verificações e constatações visuais, com discussão sobre os pontos positivos e negativos de cada processo pelo método comparativo.

➤ **Empresa A:** O consolo executado pela empresa A contém 4 barras principais localizadas em cada canto do consolo, saindo do pilar, com bitolas que variam de acordo com o carregamento da estrutura, contém ainda 5 estribos de bitola 4,2 mm distribuídos ao longo do comprimento do consolo (Figura 81).



**Figura 81 – Armadura executada pela empresa A**  
**Fonte: O autor, 2013.**

Em relação à configuração das barras, os tipos de armaduras necessárias, segundo a NBR 6118:2003 são o tirante, a armadura de costura, os estribos verticais e uma armadura construtiva (Figura 80). Em comparação com a armadura executada pela empresa A, observa-se a presença dos tirantes e dos estribos verticais, não sendo executadas as armaduras de costura e construtiva. Como a armadura construtiva é decorrente da necessidade de apoio das armaduras de costura e dos estribos verticais, e não é executada a armadura de costura, as barras inferiores do consolo da empresa A funciona como armadura construtiva apoiando os estribos.

A empresa A não utiliza almofada de apoio, um dispositivo que proporciona uma melhor transmissão de esforços na região de contato entre viga e consolo, podendo ser executado com neoprene ou outro material, não podendo ser avaliadas as disposições com relação a este detalhe construtivo.

Em relação à ancoragem da armadura, segundo as disposições construtivas (Item 4.4.3) o tirante deve estar ancorado abraçando a biela, ou seja, deve haver um gancho ancorado dentro do pilar que tenha um comprimento até o fim da biela (face inferior do consolo), na empresa A esta ancoragem não existe e quando existem 2 consolos uma mesma barra atua como tirante para estes 2 elementos. Quando o consolo executado encontra-se no modo 1 a forma de ancoragem não tem

semelhança com as ancoragens apresentadas pelas Figuras 16, 17 e 18, não podendo ser avaliada.

Analisando a segurança estrutural do concreto, este é executado em etapas distintas de concretagem resultando numa junta fria, o que pode comprometer o desempenho do concreto. A empresa A tem uma fase da execução do consolo destinada a minimizar os efeitos da junta fria, antes da concretagem, é realizado um recorte igual ao tamanho da face do consolo em contato com o pilar, esse recorte tem cerca de 1 cm de profundidade, sendo o concreto retirado, mas mantendo-se o agregado graúdo dessa região, o que melhora a ligação entre os dois concretos e resulta num produto final mais confiável.

Outro quesito discutido é a presença ou não de algum tipo de controle de qualidade no concreto produzido pela empresa, a empresa A possui uma central de dosagem que melhor distribui os materiais, executa ensaios de *slump test* diariamente e quando há alguma mudança no traço utilizado, são realizados ensaios de compressão. A existência de tais ensaios dão mais confiabilidade ao concreto e como os concretos utilizados nas fábricas de pré-moldados hoje tem comumente resistências de 40 MPa, a rigorosidade do processo produtivo é determinante.

➤ **Empresa B:** A composição estrutural da armadura executada pela empresa B para o consolo padrão 1, tem configuração semelhante a da Empresa A, variando-se a bitola do tirante e o número de estribos. Já para o padrão 2 de consolo, no qual é executada a mísula, tal configuração da armadura é diferente se comparada a mesma empresa.

Em relação ao consolo padrão 1, o consolo executado contém mísula e encontra-se no modo 1, sendo que a armadura utilizada é a apresentada na Figura 82, em que pode-se observar a presença dos tirantes, da armadura de costura, da armadura construtiva e dos estribos verticais (inclinados).



**Figura 82 – Armadura executada para consolo padrão 2 da empresa B**  
**Fonte: O autor, 2013.**

A presença de todas as armaduras melhora a qualidade final do consolo executado, mas aqui, ainda não é executada a solda de ligação entre as armaduras construtiva e tirante, como é apresentado na Figura 20, sendo executada apenas uma barra dobrada no formato destas duas armaduras juntas. Observa-se ainda que os estribos estão inclinados e não alinhados verticalmente. Apesar disso, as armaduras se assemelham com o que exige a NBR 9062:2006.

Em relação à ancoragem utilizada para o consolo padrão 2 da empresa B, esta é feita de forma semelhante ao utilizado pela empresa A, como mostrado na Figura 33, uma forma de ancoragem que difere do que a norma recomenda, não se assemelhando com as ancoragens apresentadas pelas Figuras 16, 17 e 18.

Já o consolo padrão 2, que não possui mísula, é composto por 4 barras localizadas nos cantos do consolo, saindo do pilar, sendo que a bitola destas barras variam de acordo com o carregamento da estrutura, e composto por 2 estribos instalados conforme a Figura 83.



**Figura 83 – Armadura executada para consolo padrão 1 da empresa B**  
**Fonte: O autor, 2013.**

Neste consolo, também observa-se a presença dos tirantes e dos estribos verticais, e não são executadas as armaduras de costura e construtiva. Sendo que as barras inferiores do consolo funcionam como armadura construtiva apoiando os estribos.

A empresa B também não utiliza almofada de apoio não podendo ser avaliadas as disposições com relação a este detalhe construtivo.

Em relação à ancoragem da armadura, as disposições construtivas do Item 4.4.3 dizem que o tirante deve estar ancorado abraçando a biela, ou seja, deve haver um gancho ancorado dentro do pilar que tenha um comprimento até o fim desta biela (face inferior do consolo). Na empresa B, para o consolo padrão 1 esta ancoragem não é verificada, além do fato de que a ancoragem existente no consolo depende unicamente do desempenho do adesivo Sikadur32®.

A fase de concretagem de ambos os consolos executados pela empresa B resultam em uma junta fria, o que pode comprometer o desempenho do concreto. Fato que deve ser considerado no momento do dimensionamento.

A empresa B não realiza ensaios para verificação da qualidade do concreto produzido.

➤ **Empresa C:** A empresa C executa suas armaduras de forma bastante simples e padronizada, independente do método executado, existem 2 padrões a serem utilizados. Através da Figura 84 pode-se observar um desses padrões.



**Figura 84 – Armaduras executadas para fôrmas fixas com molde para consolo (Empresa C)**  
Fonte: O autor, 2013.

Observando-se a Figura 84, constatamos que, em comparação com a Figura 80 (modelo de armadura segundo a norma), a empresa C executa as armaduras do tirante e dos estribos verticais, porém não é encontrada a armadura de costura, ou seja, o método não tem conformidade com a norma. Com análise semelhante às outras empresas, não se pode afirmar que as armaduras que são executadas, têm quantidade que satisfaça a norma, nem se a armaduras inexistentes seriam realmente indispensáveis, o ideal para estes casos seria o ensaio destes modelos executivos para que se defina o que está de acordo ou não.

Levando em conta a ancoragem da peça, existem barras que tem função de ancorar a estrutura, tendo sua configuração semelhante a estabelecida pela Figura 80 e observada pela norma, ou seja, a ancoragem abraça a biela do consolo, assim, seriam pertinentes ensaios para verificação destas barras. A ancoragem se assemelha ao previsto pela Figura 16.

A empresa não utiliza almofada de apoio em sua produção, impossibilitando a realização da verificação quanto aos detalhes construtivos que a norma aponta a partir desta almofada de apoio.

A armadura para o consolo que será executado pelo método do EPS é muito semelhante a armadura de um consolo executado pelo método dos moldes da fôrma metálica. Sendo então, suas análises idênticas.

Sobre a segurança estrutural do concreto, a empresa C utiliza duas formas de execução para o consolo, para os modos 1, 2, 3 e 4, executados quando a fôrma metálica possui os moldes para concretagem simultânea, tal processo não compromete a qualidade do concreto. Já para o consolo de qualquer um dos modos, mas que precisa ser executado pelo método do EPS, a concretagem se dá em etapas distintas resultando em uma junta fria, o que pode comprometer o desempenho do concreto.

Em relação à produção do concreto, a empresa conta com uma central de dosagem, equipamento que permite que a dosagem seja em massa, resultando em um melhor controle do concreto. Em relação a ensaios para testes do concreto, a empresa não realizou nenhum teste no momento.

➤ **Empresa D:** Levando em conta a segurança estrutural do método utilizado pela empresa D, observa-se a Figura 85, que apresenta a armadura padrão para seus consolos executados. Tal armadura é composta por 3 barras dobradas de forma que existam 2 pontos de ancoragem em ambas as direções do pilar e a armadura principal do consolo. São executados ainda 2 estribos verticais dispostos como pode ser visualizado na Figura 85.



**Figura 85 – Armadura padrão para consolos executada pela empresa D**  
Fonte: O autor, 2013.

Em relação à configuração das barras, os tipos de armaduras necessárias, segundo a NBR 6118:2003 são o tirante, a armadura de costura, os estribos verticais e uma armadura construtiva (Figura 80). Em comparação com a armadura executada pela empresa D, observa-se a presença dos tirantes e dos estribos verticais, não sendo executadas as armaduras de costura e construtiva.

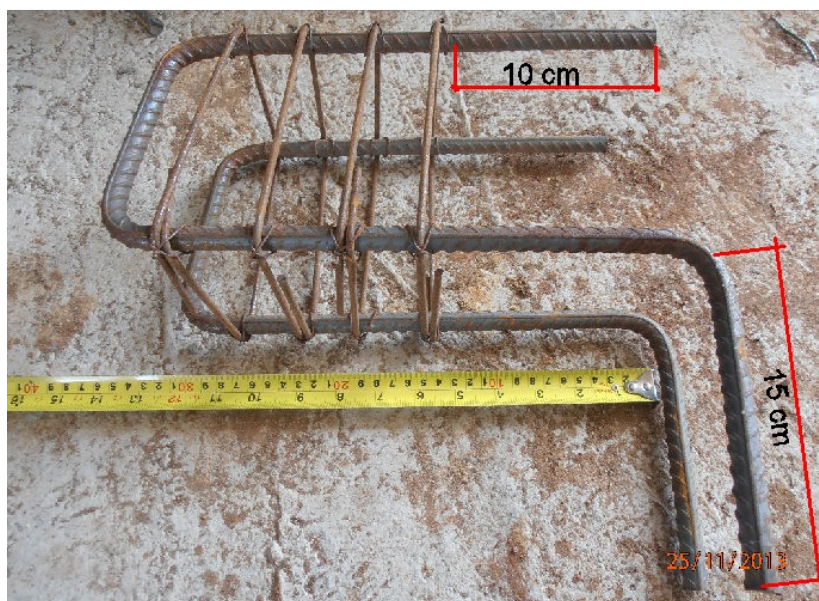
A armadura executada para os consolos apresenta uma quantidade de aço considerável para ancoragem, porém, a dobra não obedece ao proposto pela norma, em que a ancoragem deve abraçar a biela. Como esta configuração não se assemelha com as ancoragens apresentadas pelas Figuras 16, 17 e 18, não podem ser realizadas as verificações em função da almofada de apoio, como descritos no item 4.4.4.

A Empresa D também não utiliza almofada de apoio na ligação entre viga e pilar, não sendo possível as verificações a respeito deste elemento.

Sobre a segurança estrutural do concreto, a empresa D utiliza duas formas de execução para o consolo, para os modos 2, 3 e 4, a concretagem se dá de forma única, não comprometendo a qualidade do concreto. Já para o consolo que se encontra na face superior da fôrma, no modo 1, este é concretado em etapas distintas resultando em uma junta fria, o que compromete o desempenho do concreto.

Em relação à produção, a empresa conta com uma central de dosagem, equipamentos que proporcionam um melhor controle do concreto. Em relação a ensaios para testes do concreto, a empresa não realizou nenhum teste no momento.

➤ **Empresa E:** No quesito segurança estrutural, a empresa E executa a armadura do consolo conforme é apresentado na Figura 86, na qual observa-se que a dobra de ancoragem na armadura é executada em apenas uma das faces, sendo que esta dobra é posicionada acima do consolo. Com a análise das armaduras, sabe-se que a empresa executa as armaduras dos tirantes e também os estribos verticais e que não executa armadura de costura e nem a armadura construtiva, como exige a norma e é apresentado na Figura 80.



**Figura 86 – Armadura do consolo executada pela empresa E**  
**Fonte: O autor, 2013.**

A forma de execução da armadura para a empresa E se assemelha ao executado nas outras empresas quando se trata dos modos 1, 2 e 3, tanto no formato, quanto na disposição das barras, apresentando as mesmas diferenças em relação à norma, o motivo para tanto pode ser a comunicação entre as empresas, que adotam soluções semelhantes ou o próprio dimensionamento que apresenta tal solução como suficiente apesar de não obedecer à norma.

Falando sobre o segundo método utilizado pela empresa para o modo 4, no qual são feitos furos com furadeira e as barras são coladas com utilização do Sikadur32®, tanto a execução, quanto a análise em relação às armaduras se iguala ao executado no consolo padrão 2 da empresa B.

A empresa não utiliza nenhum tipo de almofada de apoio na ligação entre viga e pilar, desta forma as especificações da norma não são verificadas. Assim como o ocorre em relação à ancoragem, existem barras que funcionam como esse fim, mas se comparada a norma a ancoragem necessária não é obedecida.

Sobre a segurança estrutural do concreto, a empresa E utiliza duas formas de execução para o consolo, para os modos 1, 2 e 3, a concretagem se dá de forma única, não comprometendo a qualidade do concreto. Já para o consolo que se encontra na face do fundo da fôrma, no modo 4, este é concretado em etapas distintas resultando em uma junta fria, o que pode comprometer o desempenho do concreto.

Em relação à produção, é utilizado um misturador e a dosagem se dá em volume, pontos que se não forem controlados, podem acarretar numa queda da qualidade esperada para o concreto. Outro fato em relação a qualidade do concreto é a não realização de ensaios para análise do concreto.

### 7.2.1 Resumo em relação as empresas

A partir da análise dos resultados em relação a disposição das armaduras executadas pelas empresas, é possível fazer um resumo apresentando quais armaduras são recomendadas pela NBR 9062:2006, bem como quais são as armaduras executadas pelas empresas. O Quadro 8 apresenta tal resumo, bem como os modos em que estas armaduras são executadas.

**Quadro 8 – Armaduras recomendadas pela NBR 9062:2006 executadas pelas empresas visitadas**

<b>Armaduras segundo NBR 9062:2006</b>	<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>	<b>Empresa D</b>	<b>Empresa E</b>
<b>Tirante</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Estribos Verticais</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Armadura de Costura</b>	Não	Modo 1: Sim Modo 2,3,4: Não	Não	Não	Não
<b>Armadura Construtiva</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: O autor, 2013.

Porém, devido ao fato de que não foram realizadas análises mais profundas sobre a eficiência de tais armaduras, não se pode afirmar se a configuração dos consolos utilizadas para as empresas analisadas são suficientes ou não. Sendo apresentada uma proposta para um estudo futuro.

## 8 CONCLUSÃO

Levando em conta que não cabe julgar os métodos executivos utilizados pelas empresas que permitiram acompanhar seu processo, oferecendo informações, detalhamentos e dados do histórico da produção, sabe-se que cada empresa tem confiança absoluta em seu método executivo e que buscam sempre melhorar a qualidade de seus produtos.

Observa-se que a falta de um padrão de execução encontrado nas empresas é virtude de que as recomendações das normas pertinentes não oferecem possibilidades exequíveis se analisados os meios de produção existentes no mercado, ou vice-versa. Esta incompatibilidade gera a necessidade de desenvolvimento de meios que nem sempre oferecem a segurança que é recomendada pelas normas vigentes.

A utilização de equipamentos que facilitem a execução das peças é evidentemente necessária, porém, se estes equipamentos não oferecem os meios para que sejam seguidas as condições de segurança, as empresas são obrigadas a descumprir tais condições por conta e risco.

É claro que, muitas vezes, esse descumprimento é negligente, diante do fato de que alguns critérios poderiam ser obedecidos, mas não são.

Em relação à eficiência do método executivo, o tempo utilizado pela empresa na execução do elemento consolo está ligado à demanda que esta empresa tem para a produção das peças, não é necessário um método com rapidez elevada, se a demanda de consolos não exige tamanha preocupação, o desenvolvimento do método executivo se dá a partir do momento em que o método utilizado não é mais eficiente. E o que determina a eficiência do processo quando a demanda é baixa, é a facilidade e a segurança da execução e não o uso de tecnologias que o industrializem e o tornem mais rápido.

A opção por um método ou outro de execução, vai da ciência, por parte do empreendedor, de que tal método funciona, ou não, e se este é executável e apropriado para a sua empresa. Existe uma grande semelhança entre os métodos utilizados pelas empresas, quando estes são comparados à norma, o motivo disso pode ser o conhecimento do processo aplicado em uma empresa por outra, esta,

tendo em vista que o método funciona, adapta o método e passa a utilizá-lo. Considerando o fato de que este é um estudo regional, esta possibilidade é real.

Muitas vezes, os projetos para a execução de estruturas pré-moldadas, são elaborados pelo cliente, sendo uma exigência deste, o cumprimento de todos os pontos projetados, para as empresas, um método que seja flexível e que aceite diferentes formatos de estruturas é um ponto favorável, desde que tal empresa tenha interesse neste tipo de cliente.

Há ainda uma cultura hereditária presente na maioria das empresas quanto aos aspectos da produção, os métodos são utilizados há muito tempo e até mesmo a origem dos mesmos não era sabida por parte das pessoas que passaram as informações, desta forma não possui base científica, tendo sido desenvolvidos a partir do empirismo.

Por fim, a possibilidade de utilização de equipamentos que permitem o cumprimento de todas as regras exigidas por norma está ligado a um grande investimento, sendo que as empresas já investiram muito em equipamentos que não possibilitam tal cumprimento. Além disso, pôde ser observado que as normas em relação aos consolos não são conteúdos presentes no dia-a-dia da fábrica, resultando em alguns pontos de negligência.

Estes fatos ligados ao empirismo, ainda presente, fazem com que o processo seja eficaz aos olhos dos empreendedores, persistindo a metodologia que é mais facilitada, mas que não oferece a segurança desejada por parte de quem conhece o que é recomendado pelas normas vigentes. Desta forma, seria importante que as empresas procurassem se adequar ao que preconizam as normas, sob pena de estarem em situação vulnerável tanto na questão estrutural, quanto em questões civis.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTOQI. **Dimensionamento de consolos através do eberick pré-moldados.** Disponível em: <[http://faq.altoqi.com.br/content/426/1069/pt-br/dimensionamento-de-consolos-atraves-do-eberick-pre\\_moldado.html](http://faq.altoqi.com.br/content/426/1069/pt-br/dimensionamento-de-consolos-atraves-do-eberick-pre_moldado.html)>. Acesso em 12 de agosto de 2013.

ALTOQI. **Opções para a armadura dos consolos.** Disponível em: <<http://blogeberick.altoqi.com.br/pre-moldados/opcoes-para-a-armadura-dos-consolos/>>. Acesso em 02 de agosto de 2013.

ASSAHI, Paulo Nobuyoshi. **Sistema de Fôrma para estrutura de concreto.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118:** Projeto e Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 9062:** Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655:** Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996.

AZEVEDO, Gilmar A. T. **Avaliação técnica para definição de fôrmas para construção civil,** 2008, 64 f. Trabalho de conclusão de curso (engenharia civil) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2008.

BETOCON. **FÔRMAS METÁLICAS BETOCON.** Disponível em: <[www.betocon.com.br/produtos.htm](http://www.betocon.com.br/produtos.htm)>. Acesso em 14 de outubro de 2013.

**Cadernos de Engenharia de Estruturas** v.11 n. 53 2009 Edição Especial – ENDOSET. Disponível em: <[2009http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/cadernos\\_de\\_t.php?nro=53&area\\_det=Estruturas%20de%20Concreto%20e%20de%20Alvenaria](http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/cadernos_de_t.php?nro=53&area_det=Estruturas%20de%20Concreto%20e%20de%20Alvenaria)>. Acesso em 20 de Julho de 2013.

CARVALHO, Roberto Chust, FIGUEREDO, Jasson R. Filho. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003**. 3. ed. – São Carlos: EdUFSCar, 2013.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000.

**Estrutura, Considerações da Estrutura de concreto armado moldado in loco**. Disponível em: [http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2004-1/construcao/estrutura.htm](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2004-1/construcao/estrutura.htm). Acesso em: 12 de outubro de 2013.

FERREIRA, Marcelo de A. **Deformabilidade de ligações viga-pilar de concreto pré-moldado**. 1999. 232 f. Tese (Doutorado em engenharia de estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

FIORESE, Romeu. **Metodologia da pesquisa: como planejar, executar e escrever um trabalho científico**. João Pessoa: EDU, 2003.

FÔRMA E FÓRMA. **CATALOGO DE FÔRMAS** – Disponível em: <[www.formaeforma.com.br](http://www.formaeforma.com.br)>. Acesso em: 14 de outubro de 2013.

GIL, Antonio C.; **Como elaborar projetos de pesquisa** – 4. ed. – São Paulo: Atlas, 2002.

ISABELA C. **Slump-test e moldagem e cura de corpos de prova de concreto**. Curso Técnico em Edificações. Salvador, 2010.

LAKATOS, Eva M. MARCONI, Marina de A., **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos** – 6. ed. – São Paulo: Atlas, 2001.

LEONHARDT, Fritz, MÖNNIG, Eduard. **Construções de concreto: Casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Vol. 2. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

MIGLIORE Jr, Angelo R. **Edifício pré-moldado com ligação rígida**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. São Carlos, 2005.

NAEGELI, Cristina H., **Estudos de consolos de concreto armado**. 1997. 284 f. Tese (Doutorado em ciência em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

RECENA, Fernando A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 3. ed. – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011.

**RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 19 de Julho de 2013.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. São Carlos, 3 e 4 de novembro de 2005: 1º Encontro Nacional de Pesquisa – Projeto – Produção em concreto pré-moldado.

**Sikadur® 32, Adesivo estrutural à base de resina epóxi, fluido** – Ficha de Produto. Ed. 01/08/2011. Sika®.

TORRES, Fernando M. **Análise teórico-experimental de consolos de concreto armado**. 1998.112 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

**Anexo A – Ficha de visita sobre as empresas visitadas**

Fonte: O autor, 2013.

<b>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR</b>	
<b>Empresa:</b>	<b>Data:</b>
<b>1 – Metodologia para execução do consolo:</b>	
- Utilização de algum método de dimensionamento:	
<hr/> <hr/>	
- Como o método foi adotado:	
<hr/> <hr/>	
- Houve algum outro método aplicado, se sim, porque não parou de ser utilizado:	
<hr/> <hr/>	
<b>2 – Execução do consolo:</b>	
- modo(s) de execução (espaçamento e informações da ligação):	
<hr/> <hr/>	
- Tipo de fôrma utilizada:	
<hr/> <hr/>	
<b>3 – Preparação e detalhamento da armadura do consolo:</b>	
- Processo de corte e dobra (local; manual/mecanizado; diâmetro do pino de dobramento):	
<hr/> <hr/>	
- Quantidade de barras, diâmetros e comprimentos dentro das peças:	
<hr/> <hr/>	
- Estribos (espaçamento, diâmetro e quantidade):	
<hr/> <hr/>	
- Pino de ligação viga-consolo (diâmetro, modo de execução):	
<hr/> <hr/>	
- Cotas usuais do consolo (esboço):	
<hr/> <hr/>	

**4 – Concreto dos consolos:**

- Produção (onde é feito: betoneira, central...): \_\_\_\_\_

- Realizam ensaios de controle: Não ( ) Sim ( )

Como (Quantidade de ensaios e tipo): \_\_\_\_\_

**5 – Concretagem do consolo:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- No local de concretagem e execução do consolo (trabalhar com a peça, virar, erguer, etc...):

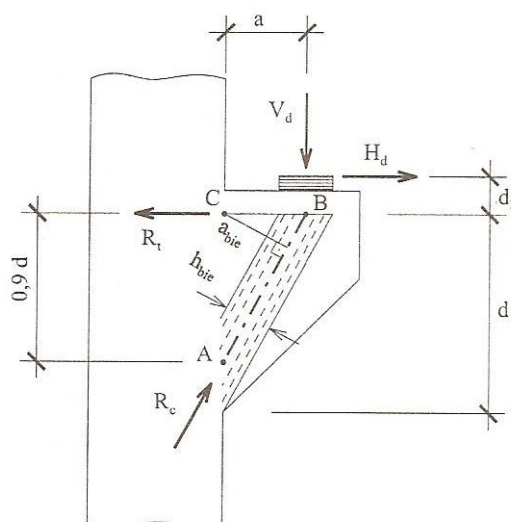
\_\_\_\_\_

**Anexo B – Modelo de dimensionamento para consolo segundo ABNT NBR 9062:2006**

Fonte: O autor, 2013.

Cálculo das armaduras de um consolo paralelepípedo submetido à carga  $F_d$  de 100KN, dados:

- Pilar 50 x 50 cm
- Classe I;
- C30;
- $c = 2,5$  cm;
- $a_1 = 25$  cm;
- $b = 15$  cm;
- $h = 25$  cm;
- Junta de assentamento à seco.



**Carga direta e indireta**

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas técnicas, 2006.

Estimando-se a armadura do tirante com diâmetro 16 mm e estribos de 6,3 mm, tem-se:

$$d_h = 25 + \frac{16}{2} + 6,3 = 39,3 \text{ mm}$$

$$d = h - d_h = 250 - 39,3 = 210,7 \text{ mm}$$

$$a/d = \frac{125}{227} = 0,59 - \text{Consolo curto}$$

Sendo assentado o elemento diretamente no consolo, tem-se:

$$H_d = 0,8 \cdot F_d = 0,8 \cdot 100 = 80 \text{ KN}$$

Utilizando-se diretamente as fórmulas de tensões de referencia, tem-se:

$$\chi = \frac{0,18 \beta}{\sqrt{0,9^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2}} = \frac{0,18}{\sqrt{0,9^2 + (0,59)^2}} = \frac{0,18}{1,08} = 0,167$$

$$\tau_{wu} = \chi f_{cd} = 0,167 \cdot \frac{30}{1,4} = 3,58 \text{ MPa}$$

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{bd} \leq \tau_{wu}$$

$$\tau_{wd} = \frac{100 \cdot 1000}{150 \cdot 227} = 2,94 \text{ MPa}$$

$$\tau_{wd} \leq \tau_{wu}$$

Calculo da armadura no tirante:

$$A_{s,tir} f_{yd} = \frac{V_d a + H_d (0,9 d + d_h)}{0,9 d}$$

$$A_{s,tir} f_{yd} = \frac{100 \cdot 125 \cdot 10^3 + 80 \cdot 10^3 (0,9 \cdot 210,7 + 39,3)}{0,9 \cdot 210,7}$$

$$A_{s,tir} f_{yd} = \frac{3,1484 \cdot 10^8}{20,43} = 1,62 \cdot 10^5$$

$$A_{s,tir} = \frac{1,62 \cdot 10^5}{\frac{500}{1,15}} = 373,6 \text{ mm}^2 = \mathbf{3,74 \text{ cm}^2}$$

Escolhendo-se uma configuração de armaduras tem-se 2Φ16mm, que somam 4,02 cm<sup>2</sup> de área, como armadura dos tirantes.

Armadura de costura

Distribuída em 2/3 d, adjacentes ao tirante obedecendo a equação.

$$A_{sv} = \left(0,1 + \frac{a}{d}\right) \cdot \frac{F_d}{f_{yd}} = \left(0,1 + \frac{12,5}{21,07}\right) \cdot \frac{100 \cdot 1000}{435} = 159,4 \text{ mm}^2 = 1,594 \text{ cm}^2$$

$$\left(\frac{A_s}{S}\right)_{cost} \geq 0,4 \cdot \left(\frac{A_{sv}}{d}\right) = 0,4 \cdot \left(\frac{1,594}{21,07}\right) = 0,03 \text{ cm}^2 / \text{cm}$$

O espaçamento na vertical não deve ser maior que:  $\frac{1}{5}$  da altura útil (d) no engastamento; 20 cm ou distância a.

$$s < \left(\frac{1}{5} \cdot d\right) = \left(\frac{1}{5} \cdot 21,07\right) = 4,2 \text{ cm}$$

Escolhendo-se uma configuração respeitando os valores do espaçamento e área em  $\text{cm}^2$ , pode-se adotar 4  $\Phi$  3,2 mm espaçados de 4 cm, que somam  $0,32 \text{ cm}^2$  de área, como armadura de costura.

Armadura transversal

Taxa de armadura mínima para vigas.

$$\left(\frac{A_{sw,min}}{S}\right) = \rho_{sw,min} \cdot b$$

$$\rho_{sw,min} = 0,2 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}\right)$$

Os valores de  $\rho_{sw,min}$  são extraídos da seguinte tabela.

AÇO	CONCRETO						
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
CA-25	0,1768	0,2052	0,2317	0,2568	0,2807	0,3036	0,3257
CA-50	0,0884	0,1026	0,1159	0,1284	0,1404	0,1580	0,1629
CA-60	0,0737	0,0855	0,0965	0,1070	0,1170	0,1265	0,1357

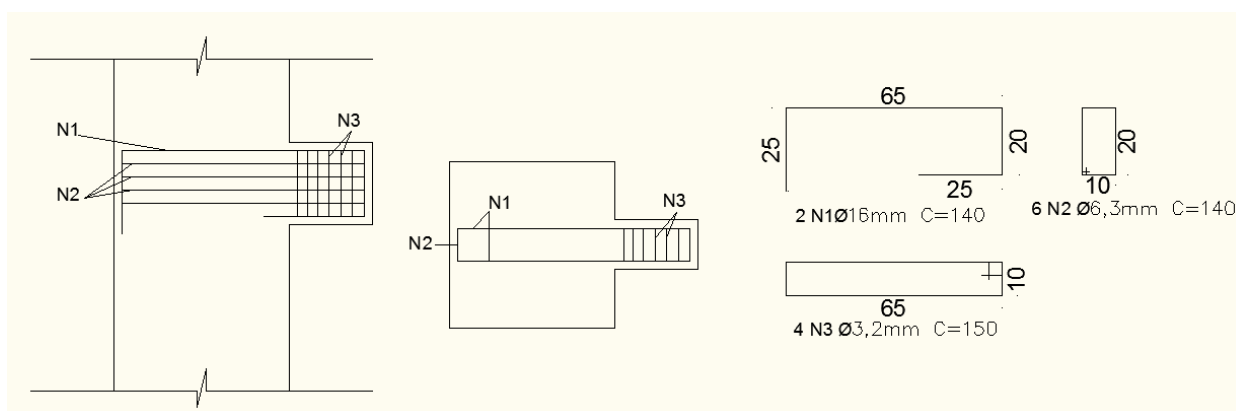
Valores de  $\rho_{sw,min}$

Fonte: Pinheiro; Libânio M., 2007

$$\left(\frac{A_{sw,min}}{S}\right) = 0,1159 \cdot 15 = 1,74 \text{ cm}^2$$

Adotando-se uma configuração de armaduras tem-se 6  $\Phi$  6,3mm, espaçados à cada 3 cm, que somam 1,81 cm<sup>2</sup> de área, como armadura transversal.

A partir dos resultados obtidos tem-se o seguinte detalhamento:



Detalhamento da armadura do consolo

Fonte: O autor, 2013