

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

**MOISÉS GUAREZ
WYLLIAN SÉRGIO BASSO**

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO
COMPORTAMENTO DE CONSOLES MONOLÍTICOS CURTOS
DE PILARES PRÉ-MOLDADOS CONSIDERANDO A NORMA
NBR 9062:2006 E UM MÉTODO ALTERNATIVO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2016**

MOISÉS GUAREZ
WYLLIAN SÉRGIO BASSO

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO
COMPORTAMENTO DE CONSOLES MONOLÍTICOS CURTOS
DE PILARES PRÉ-MOLDADOS CONSIDERANDO A NORMA
NBR 9062:2006 E UM MÉTODO ALTERNATIVO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Pato Branco.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Heloiza Aparecida Piassa Benetti.

Co-orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias

PATO BRANCO
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE CONSOLES MONOLÍTICOS CURTOS DE PILARES PRÉ- MOLDADOS CONSIDERANDO A NORMA NBR 9062:2006 E UM MÉTODO ALTERNATIVO

MOISÉS GUAREZ

WYLLIAN SÉRGIO BASSO

No dia 18 de abril de 2016, às 13h30min, na Sala M103 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição 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/2016.

Orientador: Prof^a Dr^a. HELOIZA APARECIDA PIASSA BENETTI (DACOC/UTPR-PR)

Co-Orientador: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTPR-PR)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. PAULO CÉZAR VITÓRIO JUNIOR
(DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a Dr^a. ELISANGELA MARCELO SILIPRANDI
(DACOC/UTPR-PR)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus pelo dom da vida, pelo seu amor e misericórdia incondicional, por sempre estar ao nosso lado nos dando força.

Agradecemos a nossos pais, irmãos e namoradas pelo apoio, compreensão e respeito e aos nossos amigos de 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 a Prof^a. Dr^a. Heloiza Aparecida Piassa Benetti, e 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 e todos os demais envolvidos, pela disposição e contribuição neste estudo.

Estendemos os agradecimentos à toda a equipe da empresa PREMOLFORT – Fabricação e Comércio de Pré-moldados Ltda., por nos receber e auxiliar durante todo o trabalho.

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

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin

RESUMO

GUAREZ, Moisés, BASSO, Wyllian Sérgio. Análise teórica e experimental do comportamento de consoles monolíticos curtos de pilares pré-moldados considerando a norma NBR 9062:2006 e um método alternativo. 2016. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

Conforme a busca por métodos alternativos, visando alta produtividade e redução de custos, a maioria das empresas de estruturas pré-fabricadas na cidade de Pato Branco (região Sudoeste do Paraná) adotam formas alternativas para solucionar a execução dos consoles curtos de pilares pré-fabricados, em virtude da maior dificuldade construtiva em se adotar o arranjo de armaduras especificado na norma NBR 9062:2006. Contudo, as soluções alternativas têm caráter empírico, embora largamente empregadas em obras da região, sem comprovação da capacidade resistente. Nesse sentido, este estudo compreende o ensaio experimental de protótipos em tamanho real de pilares pré-fabricados com consoles curtos, comparando a capacidade resistente de pilares contendo ora o arranjo especificado em norma, ora solução executiva adotada por empresa da região, assim como análise de pontos positivos e negativos de cada método. Os resultados experimentais obtidos demonstram diferenças significativas entre as configurações estudadas. No entanto, esses métodos alternativos encontrados pelas empresas são possíveis de se utilizar, desde que realizado um estudo prévio para verificação e comprovação das cargas atuantes.

Palavras Chave: Pré-fabricados, consoles curtos, métodos alternativos, ensaio experimental.

ABSTRACT

GUAREZ, Moisés, BASSO, Wyllian Sérgio. Theoretical and experimental analysis of the behavior of short monolithic consoles of precast pillars considering the NBR 9062: 2006 and a alternative method. 2016. 95 f. Final Paper - Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná. 2016.

Looking for alternative methods aiming high productivity and reduction of costs, most companies of prefabricated structures in Pato Branco city (southwestern Paraná region) adopt alternative ways to solve the execution of short consoles of prefabricated pillars, due to the constructive difficulty in adopting the armor arrangement specified in the standard NBR 9062: 2006. However, alternative ways have a empirical character, although widely used in constructions of the region without any proof of bearing capacity. In this sense, this study includes the experimental testing of prototypes in real size of prefabricated pillars with short consoles, comparing the load bearing capacity of pillars containing the arrangement specified in the standard and executive solutions adopted by the company in the region, as well as the analysis of the strengths and weaknesses of each method. The experimental results demonstrate significant differences between the studied configurations. However, these alternative methods found by the companies are likely to be used, since a previous study is conducted for verification and confirmation of the acting loads.

Keywords: Prefabricated, short consoles, alternative methods, experimental test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas envolvidas na execução de pré-moldados de fábrica	13
Figura 2 - Exemplo de ligação isostática	19
Figura 3 - Exemplo de ligação rotulada	20
Figura 4 - Exemplo de ligação semirrígida	21
Figura 5 - Exemplo de ligação engastada simples	22
Figura 6 - Exemplo de ligação engastada completa	23
Figura 7 - Tipos de carregamento e notação utilizada	24
Figura 8 - Exemplo de console trapezoidal	25
Figura 9 - Exemplo de console retangular	26
Figura 10 - Exemplo de console para laje alveolar	26
Figura 11 - Exemplo de console para complementar	27
Figura 12 - Trajetória das tensões principais em um console curto de concreto	28
Figura 13 - Idealização do comportamento do console curto e esquema de armaduras principais	28
Figura 14 – Modos de ruptura: (a) ruptura por flexão; (b) ruptura por fendilhamento da biela; (c) ruptura por cisalhamento	29
Figura 15 – Modos de ruptura: (a) falha no posicionamento; (b) força horizontal; (c) esmagamento do concreto	31
Figura 16 – Console típico	33
Figura 17 – Detalhe de posicionamento de armadura de costura	35
Figura 18 – Modelo de análise e características geométricas de console curto	36
Figura 19 – Ancoragem da armadura do tirante	41
Figura 20 – Esquema da Armadura do console	42
Figura 21 – Geometria dos consoles (medidas em cm)	43
Figura 22 – Esquema do ensaio	44
Figura 23 – Geometria de dimensões dos consoles (medidas em mm)	45
Figura 24 – Armação dos consoles ensaiados	46
Figura 25 – Aspectos das peças ensaiadas	47
Figura 26 - Diagrama das etapas de pesquisa	50
Figura 27 - Pórtico metálico utilizado no experimento (medidas em cm)	52
Figura 28 - Transdutor de Força HBM U10M	52

Figura 29 - Quantum X MX840A - Amplificador Universal de 8 Canais	53
Figura 30 - Interface software CatmanEasy 3.0	53
Figura 31 – Protótipos preliminares para testes iniciais dos dispositivos de ensaio..	54
Figura 32 - Geometria do corpo de prova (medidas em cm)	54
Figura 33 - Detalhamento da armadura do pilar (medidas em cm)	55
Figura 34 - Esquema definitivo do ensaio (medidas em cm).....	56
Figura 35 - Consoles concretados juntamente com as peças	58
Figura 36 – Detalhamento console método da empresa	59
Figura 37 - Furos onde serão posicionadas as barras de aço.....	60
Figura 39 – Detalhe da amarração do estribo	61
Figura 40 – Posicionamento do molde metálico.....	61
Figura 41 – Console concretado	62
Figura 42 – Detalhamento console método da NBR 9062:2006	63
Figura 43 – Armaduras posicionadas na fôrma.....	64
Figura 44 – Concretagem dos elementos em etapa única	65
Figura 45 – Adensamento do concreto	65
Figura 46 – Ruptura CP_{empresa1}	69
Figura 47 – Ruptura CP_{norma1}	70
Figura 48 – Ruptura CP_{empresa2}	71
Figura 49 – Ruptura CP_{norma2}	72
Figura 50 – Ruptura CP_{empresa3}	73
Figura 51 – Ruptura CP_{norma3}	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Coeficientes de ajustamento para consoles indicados pela NBR 9062:2006.	36
Tabela 02 – Traço do concreto.....	55
Tabela 03 – Diferenças das armaduras.	66
Tabela 04 – Cargas ensaio consoles.	74
Tabela 05 – Cargas médias finais ensaio consoles.	75
Tabela 06 – Resistência característica do concreto à compressão (MPa).....	77
Tabela 07 – Tabela de comparação geral.....	77

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – Resultado do Ensaio Consoles (KN).....	75
GRÁFICO 02 – Medidas dos Resultados no Ensaio Consoles (KN).....	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
1.1 OBJETIVOS.....	7
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	7
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	7
1.2 JUSTIFICATIVA.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1 PRÉ-MOLDADOS.....	9
2.1.1 <i>Histórico</i>	10
2.1.2 <i>Histórico no Brasil</i>	11
2.1.3 <i>Produção e Processos de Execução de Estruturas em Concreto Pré-Moldado</i>	12
2.1.3.1 <i>Fôrmas</i>	14
2.1.3.2 <i>Adensamento</i>	14
2.1.3.3 <i>Cura</i>	15
2.1.3.4 <i>Desmoldagem</i>	15
2.1.3.5 <i>Manuseio e Armazenamento</i>	16
2.2 VIGAS.....	16
2.3 PILARES.....	17
2.4 LIGAÇÕES VIGA/PILAR.....	18
2.4.1 <i>Tipos de Ligações</i>	18
2.5 CONSOLES	23
2.5.1 <i>Comportamento estrutural dos consoles curtos</i>	27
2.5.2 <i>Modos de Ruptura</i>	28
2.5.2.1 <i>Ruptura por Flexão</i>	29
2.5.2.2 <i>Ruptura por Fendilhamento da Biela</i>	30
2.5.2.3 <i>Ruptura por Cisalhamento</i>	30
2.5.2.4 <i>Outros tipos de Ruptura</i>	30
2.5.3 <i>Dimensionamento de Consoles</i>	31
2.5.3.1 <i>Modelo Bielas e Tirantes</i>	32
2.5.3.2 <i>Recomendações da NBR 6118:2014</i>	32
2.5.3.3 <i>Recomendações da NBR 9062:2006</i>	33

2.5.3.4 Roteiro de Cálculo	35
2.6 ESTUDOS EXPERIMENTAIS ENCONTRADOS NA BIBLIOGRAFIA	42
2.6.1 <i>Ensaio Experimental 1 - Curty (2009)</i>	42
2.6.2 <i>Ensaio Experimental 2 - Naegeli (1988)</i>	45
3. METODOLOGIA	48
3.1 ETAPAS DA PESQUISA	49
3.2 PROCEDIMENTO DO EXPERIMENTO	51
4. ESTUDO DE CASO	57
4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA	57
4.2 DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DO CONSOLE CONFORME A EMPRESA	58
4.2.1 <i>Sikadur® 32</i>	62
4.3 DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DO CONSOLE CONFORME NBR 9062:2006	63
4.4 DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS	65
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
5.1 ANÁLISE DAS FORMAS DE RUPTURA	69
5.1.1 <i>Ensaio do CP_{empresa1}</i>	69
5.1.2 <i>Ensaio do CP_{norma1}</i>	70
5.1.3 <i>Ensaio do CP_{2empresaA}</i>	70
5.1.4 <i>Ensaio do CP_{2normaB}</i>	71
5.1.5 <i>Ensaio do CP_{3empresaA}</i>	72
5.1.6 <i>Ensaio do CP_{3normaB}</i>	73
5.1.7 <i>Análise Geral das Rupturas</i>	73
5.2 ANÁLISE RESISTÊNCIA CORPOS DE PROVA	74
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICES	83

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento do mercado da construção civil e a exigência de um maior controle de qualidade nos processos de execução, buscando a praticidade, agilidade e segurança, além de um controle mais rigoroso, principalmente no que diz respeito a peças estruturais, alguns processos da construção civil têm sido cada vez mais industrializados a fim de promover uma melhoria contínua, evitando desperdícios e aumentando a qualidade dos mesmos.

A técnica utilizada para isso é a pré-fabricação, ou seja, a produção das peças em fábricas especializadas seguida da instalação destas na obra, que além de possuir todas estas características, buscam implantar uma padronização do processo de produção, com planejamento e controle, visando atender a todos os requisitos do mercado.

A industrialização da construção civil, através da utilização de peças de concreto pré-fabricado, promoveu no Brasil e no mundo um salto de qualidade nos canteiros de obras, pois através de componentes industrializados com alto controle ao longo de sua produção, com materiais de boa qualidade, fornecedores selecionados e mão-de-obra treinada e qualificada, as obras tornaram-se mais organizadas e seguras (SERRA, FERREIRA, PIGOZZO, 2005).

No entanto, este processo deve estar constantemente em estudo, visando seu aprimoramento, fazendo-se ajustes necessários para otimizá-lo e aumentar sua qualidade conforme as exigências atuais. Por isso, pesquisas nesta área crescem significativamente, incluindo detalhes e cercando todos e possíveis pontos a serem aprimorados, como é o caso das ligações viga/pilar, seus critérios de dimensionamento e suas formas de execução.

Segundo TORRES (1998), nos anos entre 1970 e 1980, este estudo de dimensionamento e comportamento estrutural, que inclui os consoles, teve um grande avanço. Entretanto, nos dias de hoje ainda é um assunto que gera muitas dúvidas quanto a melhor maneira de se executar e a forma correta de dimensionamento, tendo em vista que a ligação viga/pilar é um dos temas em discussão, dado sua importância para a estrutura.

Portanto, este trabalho tem como principal objetivo efetuar uma análise teórica e experimental destas ligações, realizada a partir dos consoles, os quais possuem

inúmeras formas de execução, de acordo com as particularidades e experiências de cada empresa.

Então o estudo foi focado em uma destas metodologias, utilizada em uma empresa da cidade de Pato Branco – PR, analisando seus critérios de dimensionamento, a forma de execução e efetuando um comparativo de resultados com o método sugerido pela NBR 9062:2006 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar análise teórica e experimental de consoles monolíticos curtos de pilares pré-moldados, comparando o método usual em uma empresa com o método definido pela NBR 9062:2006.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudo da metodologia de cálculo proposto pela NBR 9062:2006 de dimensionamento e execução;
- Identificar e descrever o modo de execução utilizado em uma empresa da cidade de Pato Branco – PR;
- Realizar ensaios experimentais em protótipos de pilares com consoles em escala real;
- Comparar os resultados experimentais da solução empregada pela empresa com a prescrita pela norma.

1.2 JUSTIFICATIVA

As exigências atuais do mercado da construção civil apontam a tendência à industrialização dos processos executivos, visando melhorias na qualidade e unida a maior agilidade e menor desperdício no canteiro de obras. Dentro deste processo um dos principais focos são as fábricas de elementos pré-moldados, sendo uma área crescente e com um controle maior de qualidade num processo mais racional.

Na fabricação de estruturas pré-moldadas, busca-se a padronização da produção dos elementos, de forma a minimizar custos, reduzir a possibilidade de erros, obter maior agilidade e controle de qualidade, ou seja, um método que possibilite a melhoria do processo construtivo na construção civil. Devido a essa padronização há uma grande dificuldade por parte das empresas na produção de peças com dimensões variadas, em virtude da limitação em serem feitas modificações nas fôrmas metálicas. Dentro do princípio de melhorias de recursos, as fôrmas são um dos principais focos, o que influencia nesta limitação.

Conforme El Debs (2000), as ligações entre elementos pré-moldados são de fundamental importância tanto para a produção quanto para a estrutura montada. No processo de fabricação, um dos principais pontos que deve-se ter cuidado, é a ligação viga/pilar, onde ocorre descontinuidade da estrutura e concentração de tensões, as quais podem, ou não, provocar deslocamentos, mobilizar e redistribuir esforços entre os elementos por elas conectados, com influência no comportamento de toda a estrutura, ou seja, a ligação tem como função criar um pórtico estrutural estável.

Um dos elementos que promovem esta ligação é o console, que é um elemento adjacente ao pilar que recebe as cargas provenientes das vigas e as transfere ao pilar. Devido à padronização do processo, há algumas dificuldades em se executar os consoles de acordo com a NBR 9062:2006. Em decorrência de tais dificuldades, as empresas acabam adotando métodos alternativos.

Como estes pontos de maior concentração de tensões são importantes para a estrutura como um todo, e a produção padronizada dificulta a execução de forma única entre o pilar com o console monolítico curto, em função das fôrmas metálicas que não permitem a regulagem de altura, muitas vezes necessária na execução, ou seja, o posicionamento adequado fica comprometido. Com isso são necessários métodos alternativos para contornar este problema.

Há uma grande variabilidade no mercado quanto aos métodos empregados, por isso se faz necessário um estudo mais aprofundado a respeito dessa ligação viga/pilar que tem significativa importância para as estruturas de pré-moldado, e desta forma justifica-se uma análise teórica e experimental deste elemento com um dos métodos alternativos encontrados em uma empresa de Pato Branco – PR, realizando um comparativo com o método sugerido pela NBR 9062:2006.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRÉ-MOLDADOS

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 (EL DEBS, 2000).

A utilização desta técnica tem como objetivo a redução de custos de materiais, concreto e aço. Mas a redução mais significativa nos custos está nas fôrmas e no cimbramento da estrutura, sendo que a estrutura é apenas montada no local, não necessitando destes itens. Proporciona ainda um maior controle de qualidade, redução de desperdícios, maior agilidade e praticidade no processo executivo.

Frequentemente o termo pré-moldagem é relacionado ou até mesmo confundido com pré-fabricação, no entanto a ABNT por meio da NBR 9062:2006 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado faz a distinção entre elementos pré-fabricados e elementos pré-moldados. De acordo com NBR 9062:2006, p. 2, elemento pré-fabricado é “... executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiro de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade.” Controle este ainda especificado na referida norma. Já o elemento pré-moldado, também segundo NBR 9062:2006, p. 2, é aquele que “... executado fora do local de utilização definitiva na estrutura”, com controle de qualidade menos rigoroso e também especificado na mesma norma.

El Debs (2000), diz que a pré-moldagem possui duas diretrizes, utilizada como forma de buscar a industrialização da construção, por meio da pré-fabricação e na outra é utilizada como uma forma de racionalizar a construção das estruturas de concreto.

A industrialização da construção, de acordo com Bruna (1976), está essencialmente associada aos conceitos de organização e da 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.

Segundo El Debs (2000), a industrialização representa uma viabilidade econômica quando o custo dos elementos, constituídos pela soma dos custos fixos e dos custos variáveis, resulta menor que o custo correspondente a produção com manufatura.

El Debs (2000) ainda comenta algumas vantagens da pré-moldagem, como a execução fora do local de execução definitiva que tem como consequência a facilidade de execução dos elementos, eliminação ou redução do cimbramento e das fôrmas. Também é possível obter um controle maior da qualidade, redução da mão de obra, resultando na redução de custos. No caso de produção em grande escala, em fábricas, as vantagens decorrentes da facilidade de execução são bem mais significativas. Entre outras, essas vantagens seriam, possibilitar grande reutilização das fôrmas, emprego da protensão, emprego da seção com melhor aproveitamento de materiais, maior produtividade da mão de obra e maior controle de qualidade. O autor também cita algumas desvantagens, que são decorrentes da colocação dos elementos nos locais definitivos de utilização e da necessidade de prover a ligação entre os vários elementos que compõem a estrutura.

2.1.1 Histórico

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

El Debs (2000) diz que a primeira construção com o emprego do pré-moldado provavelmente foi o cassino de Biarritz, na França, em 1891, no qual as vigas foram pré-moldadas.

De acordo com Ordonéz (1974 apud Serra, Ferreira e Pigozzo, 2005, p. 3):

Foi no período pós Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, que começou, verdadeiramente, a história da pré-fabricação como “manifestação mais significativa da industrialização na construção”, e que a utilização intensiva do pré-fabricado em concreto deu-se em função da necessidade de se construir em grande escala.

Salas (1988 apud Serra, Ferreira e Pigozzo, 2005) divide a história da utilização dos pré-fabricados em três períodos:

- De 1950 a 1970 – Período em que houve necessidade de construir diversos edifícios, devido a devastação provocada pela guerra. Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados, cujos componentes eram procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou de chamar de ciclo fechado de produção. Segundo El Debs

(2000), as principais razões desse impulso foram: necessidade de construção em grande escala, escassez da mão de obra, e o desenvolvimento da tecnologia do concreto protendido.

- De 1970 a 1980 – Período em que ocorreram acidentes com edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados. Esses acidentes provocaram, além de uma rejeição social, uma profunda revisão na utilização desses elementos nos processos construtivos. Devido a isso teve início o declínio dos sistemas pré-fabricados de ciclo fechado de produção.
- Pós 1980 – Caracterizou-se pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificados pela rejeição social e deterioração funcional. Caracterizou-se também pela consolidação da pré-fabricação de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis, de origens diversas. Conforme Bruna (1976), a industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, as necessidades de uma só empresa são conhecidas como ciclo aberto.

2.1.2 Histórico no Brasil

Como o Brasil não sofreu com os impactos da Segunda Guerra Mundial, não houve necessidade de construções em grande escala como ocorreu na Europa. El Debs (2000) afirma que no Brasil, o emprego da pré-moldagem teve início em 1925, com a fabricação das estacas para fundações do Jockey Clube do Rio de Janeiro. Na década de 50 e 60, chegaram ao Brasil os reflexos do grande avanço da pré-moldagem na Europa, que fomentaram o seu emprego no país.

Em relação a pré-fabricação de edifícios de vários pavimentos, a primeira tentativa foi a do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo – CRUSP da cidade universitária Armando Salles de Oliveira, em São Paulo. Trata-se do conjunto residencial da USP de 1964, constituído de doze prédios com doze pavimentos, projetado pelo Fundo de Construção da Universidade de São Paulo - FUNDUSP, para abrigar estudantes de outras cidades (VASCONCELOS 2002).

Segundo Oliveira (2002 apud Serra, Ferreira e Pigozzo, 2005, p. 6):

No início de sua atuação o BNH (Banco Nacional da Habitação) adotou uma política de desestímulo ao pré-fabricado no setor da habitação, na expectativa de incentivar o emprego maciço de mão-de-obra não qualificada no canteiro. Segundo a ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada (1980), isso poderia ter atrasado ainda mais o processo de industrialização,

caso alguns empresários, não tivessem vislumbrado as amplas possibilidades do pré-fabricado no futuro. Eles entraram numa luta, para mudar o quadro. Assim, o que existe se deve ao arrojo destes empresários, que se revelaram excepcionalmente interessados nos avanços para a industrialização da construção.

Conforme Serra, Ferreira e Pigozzo (2005, p. 6):

Após fatos como este, os pré-fabricados praticamente deixaram de existir na década de 80, tendo seu retorno apenas na década de 90, devido principalmente ao desenvolvimento da cidade de São Paulo, que passou a receber grandes investimentos na área de serviços, que proporcionou um aumento na construção de shopping centers, flats e hotéis. Estes novos investimentos em obras necessitavam de grande velocidade de execução e venda.

Por volta de 1994, segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem – ABESC (apud Serra, Ferreira e Pigozzo, 2005), algumas empresas resolveram pesquisar tecnologias avançadas que trouxessem economia, velocidade e flexibilidade para a construção civil. Com isso este setor de pré-moldagem teve um crescimento significativo começando a ser mais utilizado, tendo um papel mais participativo na economia e tornando-se uma alternativa competitiva no mercado da construção civil.

Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) afirmam que a pré-fabricação no Brasil, apesar de relativamente nova, já está posicionada em um patamar elevado em relação a outros países e desenvolveu-se rapidamente a partir da década de 80. Porém, há ainda muito a se pesquisar, inovar e descobrir na pré-fabricação brasileira.

2.1.3 Produção e Processos de Execução de Estruturas em Concreto Pré-Moldado

Segundo Bertoli (2007) na produção de estruturas em concreto pré-moldado englobam-se as etapas que vão desde o início da fabricação até a montagem das peças. A partir disso têm-se dois tipos de produção: os concretos pré-moldados em fábrica que englobam as etapas de moldagem e execução, transporte da fábrica até a obra, montagem e execução das ligações, e os concretos pré-moldados executados em canteiros que se diferenciam por não necessitar do transporte do material.

Para El Debs (2000) a execução dos elementos pré-moldados pode ser subdividida em três fases: atividades preliminares, execução, atividades posteriores, englobando as seguintes etapas (Figura 1):

Atividades Preliminares

- a) Preparação dos materiais – nesta fase incluem-se o armazenamento das matérias-primas, a dosagem e mistura do concreto, preparo e montagem das armaduras.
- b) Transporte dos materiais – o transporte do concreto e da armadura até a fôrma.

Execução

- c) Preparação da fôrma e armadura - limpeza da fôrma, aplicação do desmoldante e colocação da armadura.
- d) Colocação do concreto – lançamento e adensamento do concreto.
- e) Cura do concreto – período em que o elemento fica na fôrma até atingir resistência desejada.
- f) Desmoldagem – retirada do elemento da fôrma.

Atividades Posteriores

- g) Transporte interno – transporte dos elementos até a área de armazenamento ou acabamento
- h) Acabamentos finais – inspeção, eventuais remendos e maquiagem.
- i) Armazenamento – período que o elemento fica armazenado até envio para obra.

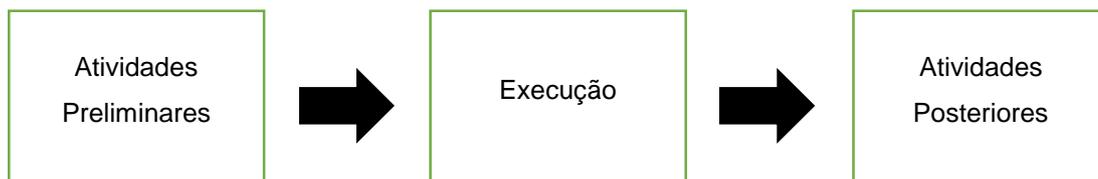


Figura 1 - Etapas envolvidas na execução de pré-moldados de fábrica
Fonte: Adaptada de El Debs, 2000.

Normalmente, a execução dos elementos pré-moldados é feita em uma só etapa de moldagem. No entanto, dependendo da forma do elemento emprega-se mais de uma etapa de moldagem. A escolha do processo de execução depende ainda, dentre outros fatores, da produtividade desejada, investimentos e especialização da produção (EL DEBS, 2000).

2.1.3.1 Fôrmas

De acordo com El Debs (2000) as fôrmas são de fundamental importância na execução dos pré-moldados, pois são elas que determinam a qualidade do produto e a produtividade do processo.

El Debs (2000) indica que as qualidades desejáveis para as fôrmas são:

- a) Estabilidade volumétrica, para que as dimensões dos elementos obedeam às tolerâncias;
- b) Possibilidade de reutilização;
- c) Serem de fácil manejo;
- d) Apresentar pouca aderência com concreto e ser de fácil limpeza;
- e) Facilidade de desmoldagem;
- f) Estanqueidade;
- g) Versatilidade;

A NRB 9062:2006, item 9.5, cita que as fôrmas devem adaptar-se às formas e dimensões das peças pré-moldadas, respeitando as tolerâncias, especificadas na referida norma. As fôrmas podem ser constituídas de aço, alumínio, concreto ou madeira, revestida ou não de chapas metálicas, fibra, plástico ou outros materiais que atendam as características básicas exigidas por esta norma.

Conforme El Debs (2000) relata, os materiais mais empregados são madeira e aço. As fôrmas de madeira têm o menor custo, no entanto apresentam um número menor de reutilizações e precisam de maior manutenção. Por outro lado, as fôrmas de aço permitem um grande número de utilizações e menor manutenção, porém são mais caras.

El Debs (2000) sugere que, para facilitar a execução dos elementos, devem ser evitados os cantos vivos, as bordas especiais e ângulos agudos, pois são suscetíveis a danos durante o manuseio.

2.1.3.2 Adensamento

De acordo com a NRB 9062:2006, p. 32, item 9.4.2.1, o adensamento deve ser executado da seguinte maneira:

Durante ou imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser adensado por vibração, centrifugação ou prensagem, permitindo-se a adoção de mais de um destes métodos, concomitantemente. O adensamento deve ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos da fôrma. Durante o adensamento devem ser tomadas as precauções necessárias para que não se formem ninhos ou haja segregação dos materiais; deve-se evitar, quando da utilização de vibradores de imersão, o contato do vibrador com a armadura para que não se formem, com a vibração desta, vazios a seu redor, com prejuízo da aderência.

Na execução de elementos pré-moldados El Debs (2000) explica que procura-se utilizar concreto com resistência maior que o de estruturas de concreto moldado no local. Desta forma, é comum trabalhar-se com concretos com menor relação água/cimento e, portanto, com menor índice de consistência. Em face disto, faz-se necessário maior cuidado para adensar adequadamente, de forma a garantir a qualidade do concreto.

2.1.3.3 Cura

A NBR 9062:2006 divide a cura em dois tipos:

- Cura Normal – enquanto não atingir resistência satisfatória, o concreto deve ser protegido contra agentes prejudiciais. A proteção contra a secagem prematura deve ser feita, mantendo-se a superfície umedecida ou protegendo-a com uma película impermeável, pelo tempo necessário à hidratação adequada, levando em conta a natureza do cimento.
- Cura acelerada – O endurecimento do concreto pode ser antecipado por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado.

2.1.3.4 Desmoldagem

Segundo El Debs (2000), os procedimentos empregados na desmoldagem dependem das fôrmas. Podem ser feitos dos seguintes modos:

- a) Direta – retirada dos elementos por levantamento, com retirada ou não de partes laterais das fôrmas;
- b) Por Separação dos Elementos – correspondem as fôrmas utilizadas na execução de painéis;

- c) Por tombamento da fôrma – também direcionada a execução de painéis, o elemento é moldado com a fôrma na posição horizontal e é colocado na posição vertical para desmoldagem.

Ainda, de acordo com El Debs (2000), na desmoldagem deve ser considerada certa aderência entre o concreto e a fôrma, que depende do material da fôrma, da eficiência do desmoldante entre outros fatores. A resistência do concreto para a desmoldagem depende das solicitações a qual o elemento será submetido, a indicação prática é de que seu valor seja metade da resistência de projeto.

A NBR 9062:2006, p.33, item 9.5.4.1 diz que: “O projeto e a execução das fôrmas devem atender todas as condições para fácil desmoldagem, sem danificar os elementos concretados, como previsão de ângulos de saída, livre remoção das laterais e cantos chanfrados ou arredondados”.

2.1.3.5 Manuseio e Armazenamento

Conforme a NBR 9062:2006, p.34, item 10.1:

Os elementos pré-moldados são suspensos e movimentados por intermédio de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados em pontos de suspensão localizados nas peças de concreto perfeitamente definido em projeto, evitando-se choques e movimentos abruptos. As máquinas de suspensão, balancins, cabos de aço, ganchos e outros dispositivos são dimensionados levando-se em conta as solicitações dinâmicas conforme o disposto em norma.

E, seguindo orientações da norma NBR 9062:2006, a descarga dos elementos pré-moldados deve ser feita com os mesmos cuidados do manuseio. O armazenamento é efetuado sobre dispositivos de apoio, como cavaletes, caibros ou vigotas, sobre terreno plano e firme.

Nessa etapa, segundo El Debs (2000), deve-se ter atenção aos seguintes aspectos: possibilidade de deformações excessiva, devida a pouca idade do concreto e estufamento devido à variação de temperatura.

2.2 VIGAS

De acordo com Libanio (2007, p. 7), “vigas são barras horizontais que delimitam as lajes, suportam paredes e recebem ações das lajes ou de outras vigas e as transmitem para os apoios.”

Segundo Melo (2004), as vigas devem ter a maior repetitividade possível, dentro de uma estrutura em pré-moldados, ou seja, devem ser projetadas com a máxima racionalidade e facilidade de execução. O projeto deve direcionar os detalhes fora de padrão para os pilares, e nesse serão feitos os ajustes necessários.

Ainda de acordo com o autor acima citado, a menor largura possível no caso de vigas retangulares é de 15 cm, mas a medida padrão adotada normalmente é de 20 cm. Deve ser usado no projeto das vigas retangulares concreto com $f_{ck} \geq 35$ Mpa. Na liberação de desfôrma deve-se utilizar $f_{cj} \geq 21$ Mpa.

2.3 PILARES

Libanio (2007, p. 7) define pilares como: “barras verticais que recebem as ações das vigas ou das lajes e dos andares superiores e as transmitem para os elementos inferiores ou para a fundação”.

Segundo a NBR 6118:2014, item 14.4.1.2, pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente disposto na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.

Pilares ou colunas são elementos estruturais que têm a função de transportar as cargas (verticais e horizontais) que atuam nas estruturas até às fundações, sendo por isto, peças de grande responsabilidade (MAGNANI, 1999).

Melo (2004, p. 199) traz como conceito de pilares:

Os pilares são as peças mais complexas e com maior dificuldade de execução, tanto nas definições de projeto quanto na fábrica. Os detalhes, de modo geral, são incorporados no projeto individual dos pilares, e por isso mesmo eles são as peças menos padronizadas do sistema do pré-fabricado.

Ainda conforme Melo (2004), o pilar é a peça com maiores diferenças em sua geometria, é nele que se localizam os consoles, elemento estrutural esse que será definido na sequência e, desta maneira criando formatos recortados nas fôrmas tornando a fabricação quase artesanal. Ainda com a execução em fôrmas metálicas, existem trechos que necessitam de segmentos onde são introduzidas fôrmas de madeira para realizar as saliências dos consoles, e a mão de obra necessária à execução dos pilares é maior que nas demais peças estruturais.

2.4 LIGAÇÕES VIGA/PILAR

As estruturas de pré-moldado são caracterizadas pela facilidade de execução de seus elementos. Porém, a necessidade de realizar a ligação entre esses elementos acarreta em um dos principais problemas a serem enfrentados no ramo da pré-moldagem. Em geral as ligações são a parte mais importante no projeto de estruturas de pré-moldados. São de fundamental importância para a produção, montagem da estrutura e execução das ligações, assim como para o comportamento da estrutura já montada (EL DEBS, 2000).

De acordo com Nobrega (2004, p. 23):

Do ponto de vista do comportamento estrutural, a presença das ligações é o que diferencia basicamente uma estrutura de concreto pré-moldado de uma estrutura monolítica moldada no local. As ligações podem ser consideradas como regiões de descontinuidade na estrutura pré-moldada onde ocorrem concentrações de tensões, as quais podem, ou não, provocar deslocamentos e mobilizar e redistribuir esforços entre os elementos por elas conectados, com influência no comportamento de toda a estrutura.

Melo (2004) diz que as ligações são diretamente proporcionais no que se refere a complexidade, ao custo e a eficiência estrutural. Quanto mais eficiente for a ligação melhor partido estrutural é atingido. Entretanto, seu custo e possíveis cuidados na execução também serão maiores, sendo de extrema importância a definição correta do tipo de ligação a ser usada.

2.4.1 Tipos de Ligações

A partir de Melo (2004), segue abaixo a classificação das ligações:

- Ligações Isostáticas;
- Ligações Rotuladas;
- Ligações Semirrígidas;
- Ligações Rígidas (engastada).

As ligações isostáticas se caracterizam por não transmitirem esforços entre as peças de pré-moldado. Portanto, não ocorre o efeito pórtico na estrutura, pois as peças trabalham de forma isolada. Para que esse tipo de ligação funcione de forma adequada, os deslocamentos nos pilares não podem ser grandes, porque o contato

físico entre o pilar e a viga pode levar a transmissão de esforços, iniciando o efeito de pórtico não previsto.

Para que de fato ocorram pequenos deslocamentos entre as peças, elas são apoiadas sobre apoios de elastômeros e, segundo El Debs (2000), os apoios de elastômero são empregados para promover uma distribuição mais uniforme das tensões de contato na ligação entre elementos. O elastômero normalmente empregado é o policloropreno, denominado comercialmente neoprene. Os pinos que ajudam no posicionamento e impedem o tombamento das vigas são de aço CA 25, com diâmetro de 12,5 mm, pois este apresenta capacidade adequada de deformação.

O preenchimento dos furos para fixação das vigas deve ser realizado com argamassa comum. Ao se retrair ela deixa espaço para deformação do pino.

A Figura 2 abaixo representa o tipo de ligação isostática, bem como suas características.

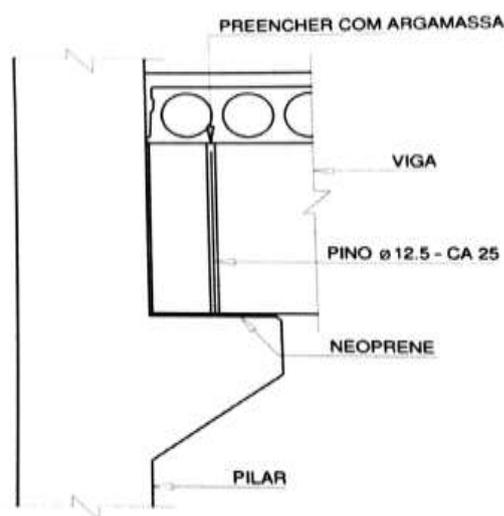


Figura 2 - Exemplo de ligação isostática
Fonte: Melo (2004).

As ligações rotuladas têm características de transmitir além das cargas verticais os esforços horizontais entre as peças. Para a transmissão desses esforços, essas ligações são projetadas considerando que eles se encaminham pela resistência do neoprene ao cisalhamento. Há possibilidade de substituir o neoprene simples por um sistema de neoprene combinado com graute, que é mais eficiente e ainda pode contar com o efeito do pino, como mostra a Figura 3.

Ligação pelo pino se caracteriza pela consideração de transmissão de esforços pelo cisalhamento puro do pino. A característica principal dessa ligação é o

preenchimento dos furos das vigas, que é feito com graute, e é obrigatória a retirada do molde do furo da peça para que haja a perfeita aderência do graute com a superfície de concreto da peça.

Neste tipo de ligação, existe a opção de utilizar outros tipos de pinos. Em aço CA 25, além do pino de 12,5 mm de diâmetro, pode-se colocar também o de 16,0 mm de diâmetro, obviamente mais resistente. Pinos de aço CA 50, não são recomendados por questões que envolvem a dificuldade de montagem das peças, e só devem ser utilizados em casos especiais. O ideal é a utilização do pino em CA 25.

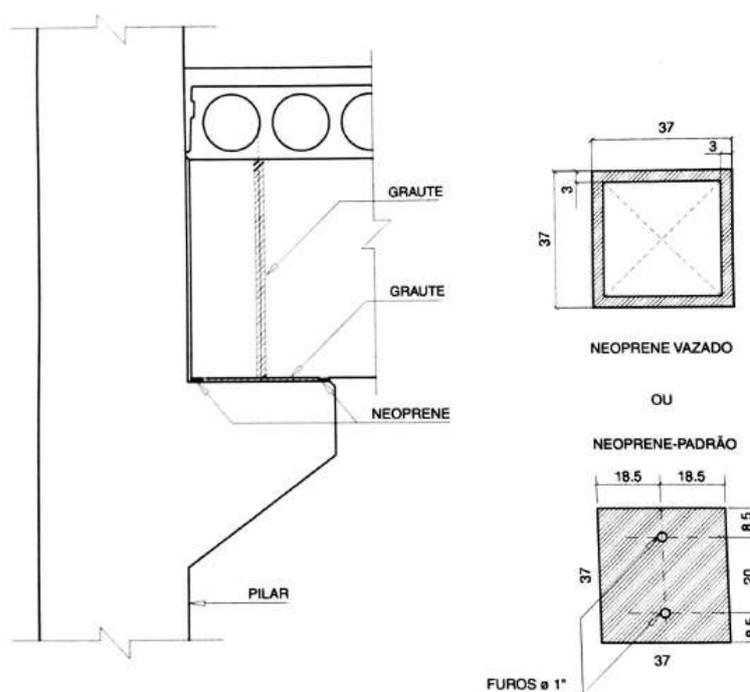


Figura 3 - Exemplo de ligação rotulada
Fonte: Melo (2004).

Ligações definidas como semirrígidas, apresentam um aprimoramento técnico em relação as ligações rotuladas, em que não se despreza a capacidade resistente ao momento, portanto, faz-se valer da propriedade de semi-engastamento.

Na consideração de forças horizontais é obrigatório o uso de neoprene preenchido com graute. E, para que apresente a propriedade de resistir parte do momento fletor de engaste nas peças, é necessária a colocação de dois pinos de ligação de maneira a criarem um binário de forças resistente, conforme mostra a Figura 4.

A partir disto, a especificação do pino deve priorizar a capacidade em suportar o esforço de tração e, com isso, padroniza-se que, toda ligação resistente ao momento fletor deverá ter pinos em cordoalha com diâmetro de 12,5 mm, ambos devidamente ancorados.

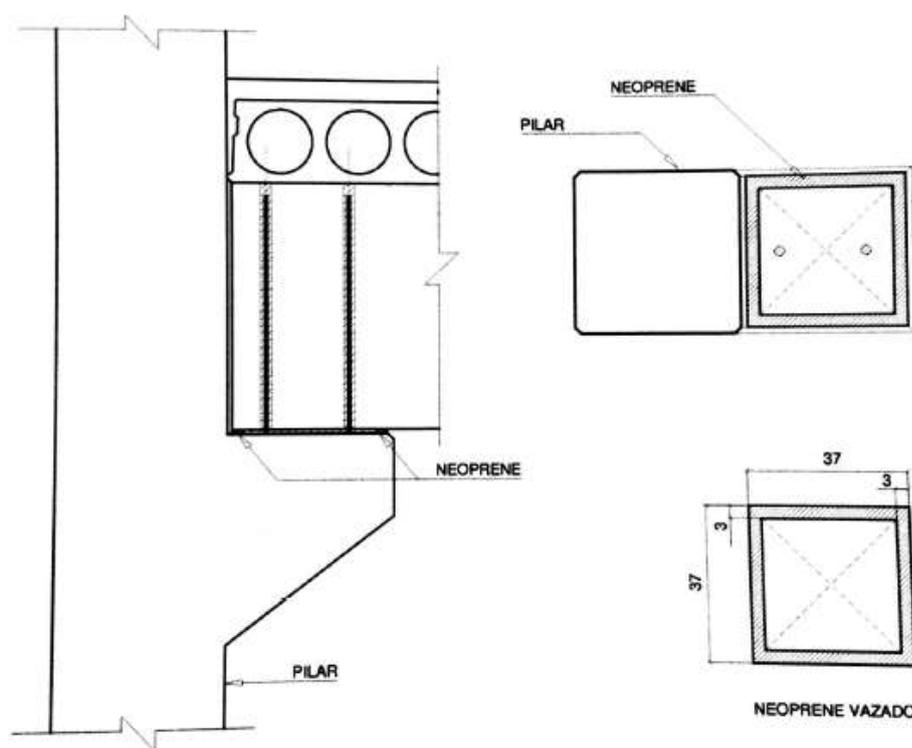


Figura 4 - Exemplo de ligação semirrígida
Fonte: Melo (2004).

As ligações rígidas ou engastadas podem ser de dois tipos: as que não apresentam ligações à tração na região inferior da viga, e as que apresentam ligações completas.

- a) **Ligação Engastada Simples:** se caracterizam pela não inversão do momento negativo na viga, ou seja, não apresentam ligações resistentes a esforços de tração na região inferior da viga, junto ao pilar, normalmente comprimida pelo momento negativo.

Nesse caso as vigas devem ter uma folga maior, de no mínimo 2 cm em relação ao pilar. Deve-se também considerar o preenchimento completo da ligação com graute, que resistirá aos esforços de compressão da viga. Armadura negativa da viga deve formar um nó com o pilar, para isso há duas formas de realizar o detalhe: com furos passantes no pilar, ou com luvas colocadas no pilar. A utilização dos furos no pilar é a mais

recomendada, pois se tem a folga necessária para instalação da armadura negativa, posicionando-a de forma correta após a instalação das peças. A luva exige maior precisão na concretagem do pilar e montagem das peças. Após a instalação da barra negativa, estas devem ser fixadas com o graute ou colocadas com adesivo à base de epóxi no pilar. Não é recomendado o preenchimento do furo com concreto normal ou concreto do complemento da viga, pois as falhas de concretagem podem comprometer a estabilidade da estrutura.

A Figura 5 mostra exemplo de Ligação Engastada Simples:

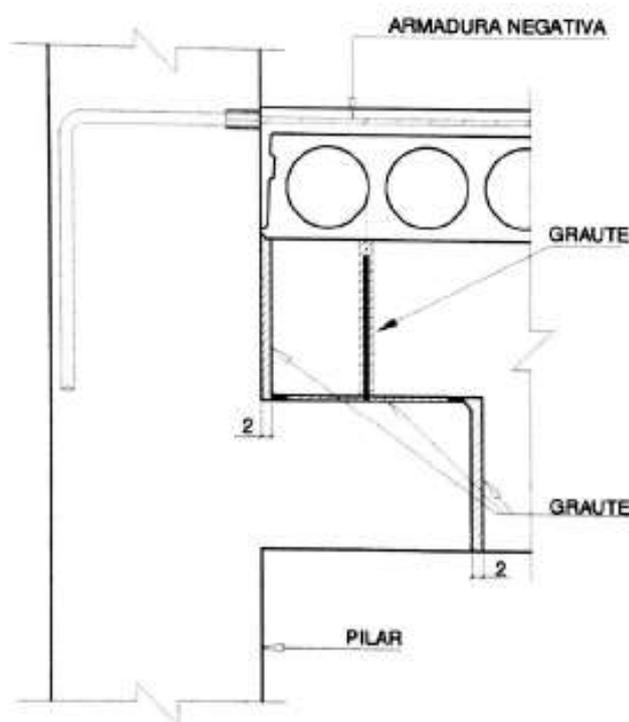


Figura 5 - Exemplo de ligação engastada simples
Fonte: Melo (2004).

- b) **Ligação Engastada Completa:** As ligações de engastamento total são as mais sofisticadas e realmente possibilitam reações muito próximas do engaste perfeito. Diferem pouco da ligação engastada simples, os detalhes são iguais, apenas acrescidos de chapas de aço posicionadas na parte inferior das vigas, soldadas sobre outra chapa posicionada no apoio, como mostra a Figura 6. Essas chapas soldadas realizam a transmissão dos esforços de tração oriundos da inversão de momentos negativos nos

apoios, que em função dos esforços horizontais, se transformam em momentos positivos.

Neste tipo de ligação não existe apoio de neoprene, ele é substituído pelo contato direto das chapas metálicas. O detalhe mais importante fica por conta do nivelamento dessas chapas durante a concretagem das peças.

Neste tipo de ligação não pode haver folga.

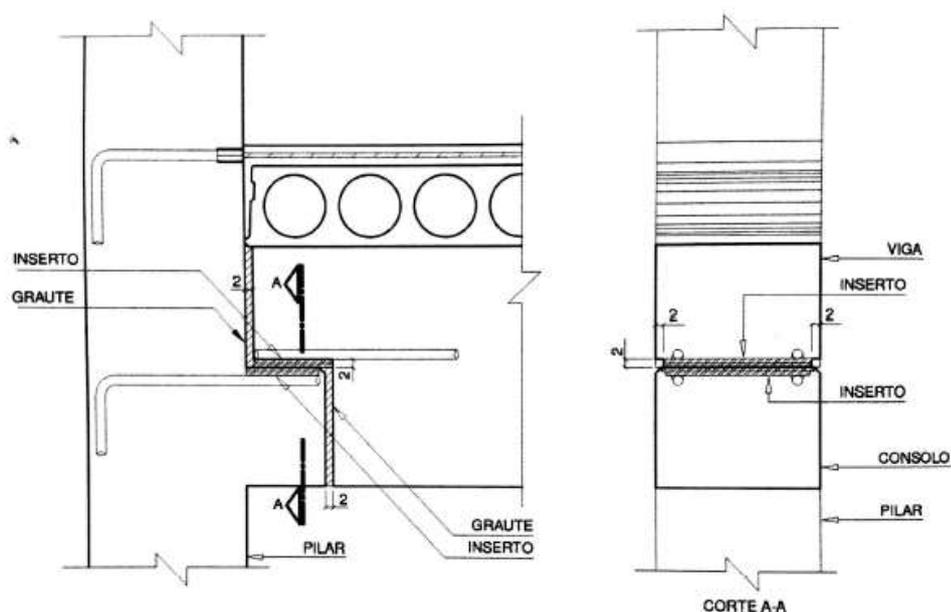


Figura 6 - Exemplo de ligação engastada completa
Fonte: Melo (2004).

2.5 CONSOLES

Segundo Melo (2004, p. 214), “os consoles são os complementos dos pilares que tornam seu detalhamento mais difícil. Eles são ligados pela massa de concreto aos pilares, além de representarem a maior porcentagem de problemas de projeto”.

De acordo com El Debs (2000), consoles são elementos que compõem a estrutura e se projetam dos pilares ou paredes para servir de apoio para outras partes da estrutura ou para cargas de utilização. Constituem-se em balanços bastante curtos, necessitando de um dimensionamento diferente do efetuado em vigas, pois, em geral, não vale a teoria técnica da flexão. Os consoles se destacam entre os elementos mais usuais de ligação em estruturas pré-fabricadas.

Naegeli (1997, p. 3), define console como:

Consoles são elementos estruturais prismáticos utilizados frequentemente em estruturas de concreto armado, servindo de apoio para outros elementos estruturais ou para equipamentos pesados, tais como pontes rolantes. Nestes elementos há transmissão direta de carga neles aplicada para o pilar que lhes serve de apoio, não sendo para eles válidos os critérios de dimensionamento de vigas esbeltas.

Conforme Torres (1998), consoles são peças de concreto armado, saliente aos pilares, que são carregados na extremidade livre com forças concentradas, aplicadas a uma distância “a”, medida desde a linha de ação da força vertical até a face do pilar adjacente (Figura 7). Estes elementos podem também estar ligados a vigas, por exemplo, onde vigas descarregam em vigas, fato que ocorre geralmente na estrutura de edifícios pré-moldados.

Ainda, conforme Torres (1998), os consoles podem apresentar carregamentos diretos ou indiretos, em função da forma de aplicação da carga vertical. No caso do carregamento indireto, a ação vertical está aplicada ao longo de toda a altura do console, ou está concentrada na face inferior deste elemento, como se pode observar na Figura 7.

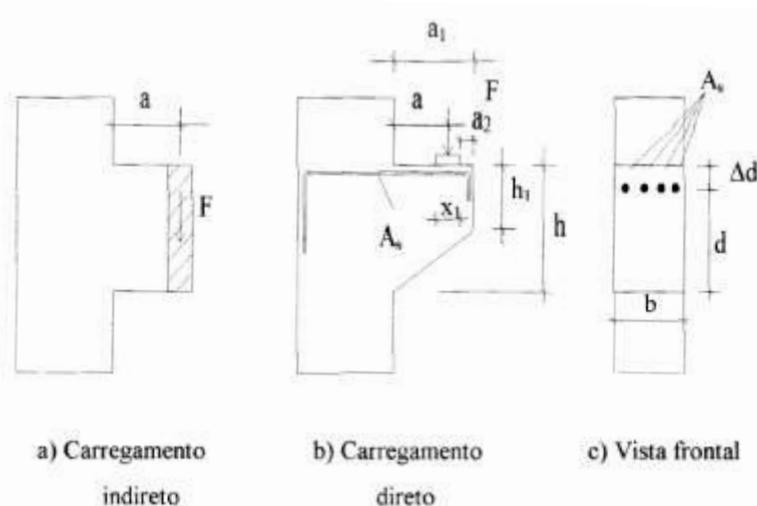


Figura 7 - Tipos de carregamento e notação utilizada
Fonte: Torres (1998).

Os consoles devem ter ao máximo suas dimensões padronizadas, para facilitar a execução e diminuir custos. Contudo, ainda existem vários tipos diferentes de consoles, devido aos seus formatos e aplicações, podem também ser simples ou duplos, a partir disso Melo (2004) apresenta alguns tipos mais utilizados mostrados a seguir:

- Console trapezoidal para viga I;

- Console retangular para viga retangular com apoio em dente Gerber;
- Console para laje alveolar;
- Console complementar.

Os consoles para vigas tipo I são utilizados em vigas protendidas, pois neste caso, não são realizados dentes Gerber. Portanto, os consoles para apoiar estas vigas devem estar abaixo delas, e, neste caso são utilizados consoles trapezoidais. Melo (2004) sugere alguns valores de medidas padrões para execução destes consoles, como largura de 40 cm em função das vigas I, geralmente ter essa largura devido a pista de protensão, altura de 50 cm, incluindo 20 cm de altura constante e 30 cm de trecho inclinado a 45°, como observamos na Figura 8.

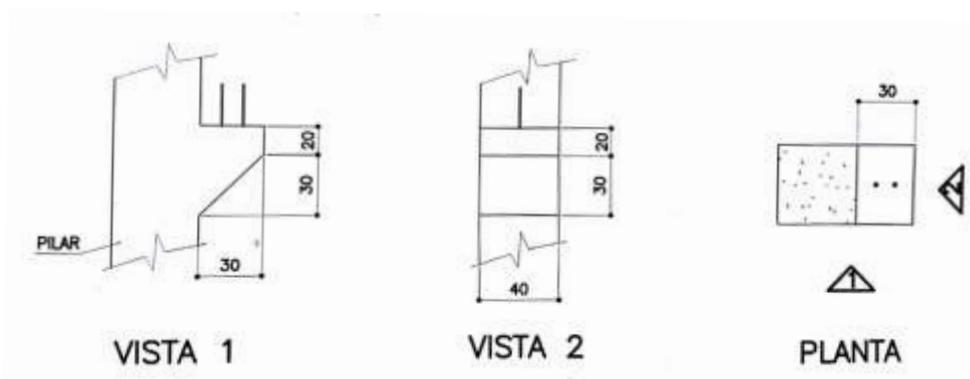


Figura 8 - Exemplo de console trapezoidal
Fonte: Melo (2004).

Para as vigas retangulares em concreto armado apresentam-se com o dente Gerber. Situação em que o console pode ser retangular e, as medidas para o console sugeridas são, apresentar a largura e a altura da viga que deva corresponder com a metade do dente Gerber, menos um centímetro, conforme Melo (2004) e que está representado na Figura 9.

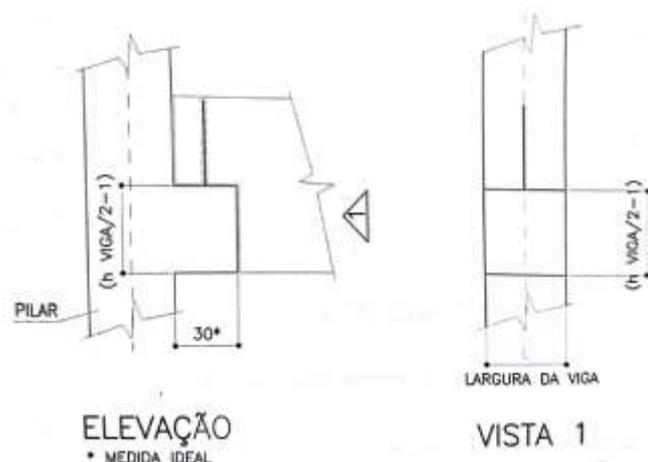


Figura 9 - Exemplo de console retangular
Fonte: Melo (2004).

O console para laje alveolar é normalmente retangular e de pequenas dimensões. No caso de fachada em painéis alveolares, é obrigatório o console retangular. Já para laje alveolar de piso, o console pode manter um desenho trapezoidal, se houver uma grande repetição da solução. Caso contrário, o console deve ser retangular de pequenas dimensões, como sugere Melo (2004) na Figura 10 abaixo.

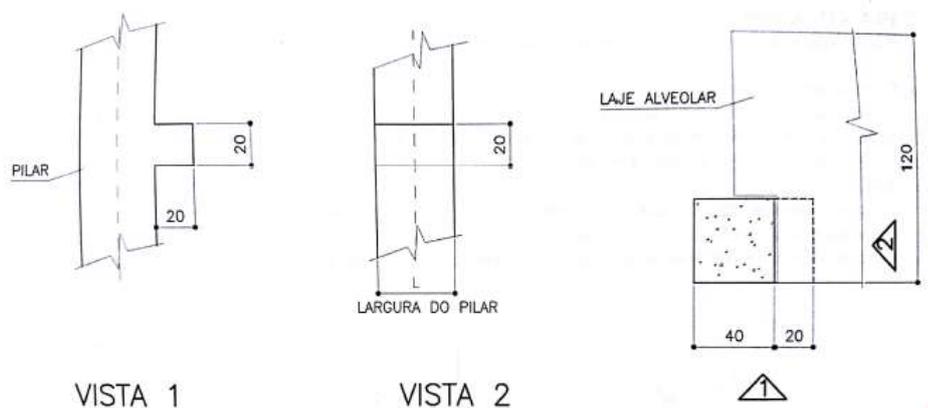


Figura 10 - Exemplo de console para laje alveolar
Fonte: Melo (2004).

Os consoles complementares são utilizados para aumentar a seção de apoio de uma viga. Como é o caso, quando um pilar que morre exatamente em uma cota e, onde duas vigas se apoiam, e que há necessidade de maior área de apoio, pode-se então desenvolver um console que irá aumentar a área (Figura 11). Melo (2004) sugere que esse console seja evitado por simplificação do sistema construtivo. Caso

seja inevitável, deve ter o maior número de repetições possível, de modo a tornar a conexão um sistema repetitivo.

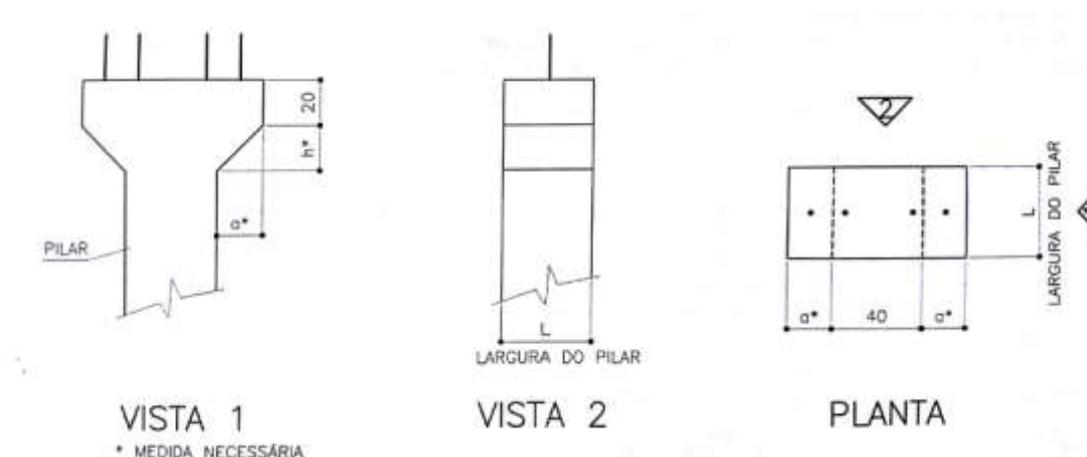


Figura 11 - Exemplo de console para complementar
Fonte: Melo (2004).

2.5.1 Comportamento estrutural dos consoles curtos

Com base em ensaios experimentais de Franz e Niedenhoff (1963 apud El Debs, 2000) a primeira noção do comportamento dos consoles pode ser entendida a partir da Figura 12, onde estão mostradas as trajetórias das tensões principais em regime elástico, para consoles com relação entre a base (a) e altura (h) de 0,5 (a/h). As principais conclusões que os autores dos trabalhos experimentais chegaram foram:

- A parte inferior do console retangular não é praticamente solicitada, de forma que o chanfro nesta parte do console 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 console, 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.

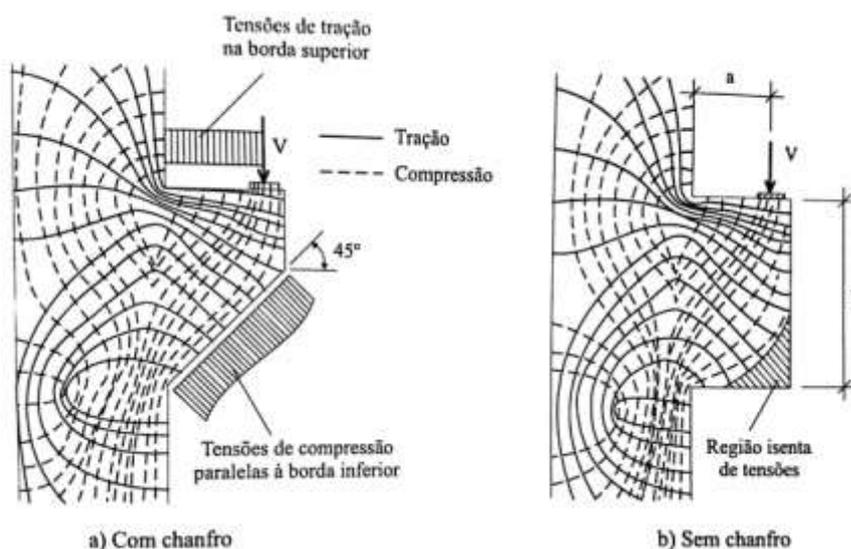


Figura 12 - Trajetória das tensões principais em um console curto de concreto
Fonte: El Debs (2000).

Com os resultados obtidos, os autores recomendam o emprego do modelo de treliça simples, com uma barra tracionada, o tirante, e uma diagonal comprimida, a biela, como detalhado na Figura 13.

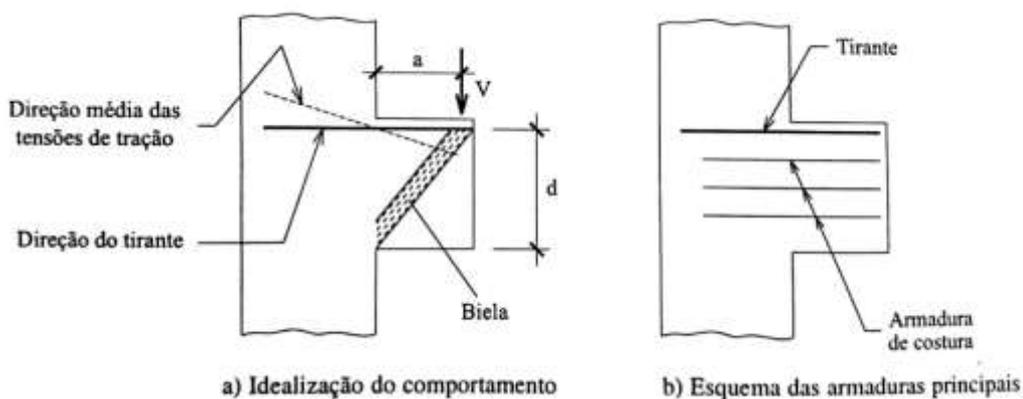


Figura 13 - Idealização do comportamento do console curto e esquema de armaduras principais
Fonte: El Debs (2000).

2.5.2 Modos de Ruptura

De acordo com El Debs (2000), os consoles apresentam três modos de ruptura principais: ruptura por flexão, fendilhamento da biela de concreto e cisalhamento.

Além desses tipos básicos de ruptura, El Debs (2000) comenta que pode ocorrer ruptura por detalhamento incorreto, como ruptura localizada junto a borda

devida a deficiência de ancoragem da armadura do tirante, ou ruptura devido à força estar muito próxima da borda, ou análise incorreta, como ruptura devido a ocorrência não prevista da força horizontal.

Segundo Costa (2009), o modo de ruptura depende essencialmente da quantidade de armadura utilizada, resistência à compressão do concreto e da razão a/d (base/altura do console).

2.5.2.1 Ruptura por Flexão

Esta se caracteriza por uma deformação excessiva da armadura do tirante, levando ao esmagamento do concreto na parte inferior do console (EL DBES, 2000).

Segundo Curty (2009), ocorre devido à falta ou insuficiência de armadura de flexão, ou seja, armadura do tirante. Nesta observa-se apenas uma fissura principal que se desenvolve de modo significativo com acréscimo do carregamento aplicado (Figura 14a).

Do ponto de vista de segurança, é o modo mais desejável, porque demonstra grandes deformações e fissuras que são indicativos de colapso conseguinte, favorecendo reparos preventivos na estrutura (COSTA, 2009).

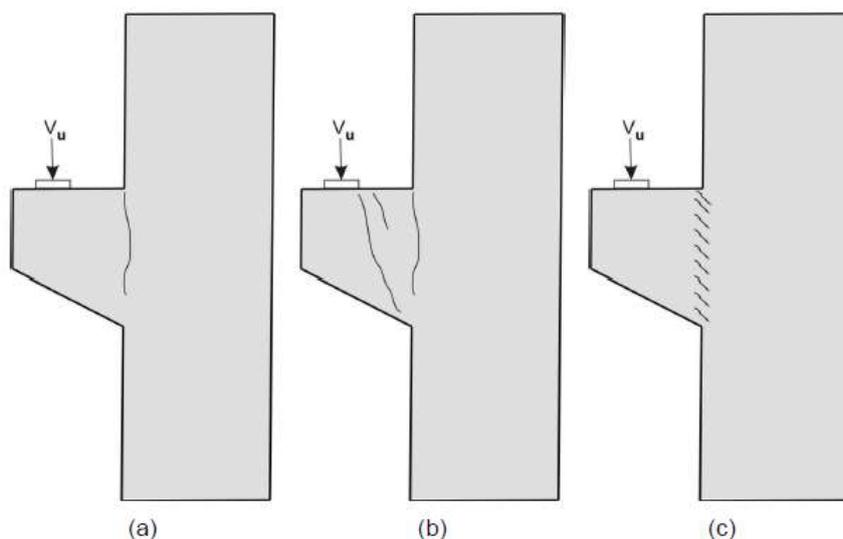


Figura 14 – Modos de ruptura: (a) ruptura por flexão; (b) ruptura por fendilhamento da biela; (c) ruptura por cisalhamento
Fonte Curty (2009).

2.5.2.2 Ruptura por Fendilhamento da Biela

Ocorre quando há o fendilhamento da biela comprimida e o esmagamento do concreto. É uma fissuração diagonal que parte do ponto de aplicação da força até a linha de junção do console com o pilar, fissura aproximadamente em 45° (COSTA, 2009). O aspecto desta fissura pode ser visto na figura 14b.

2.5.2.3 Ruptura por Cisalhamento

De acordo com El Debs (2000), ocorre o escorregamento do console acompanhado por fissuração junto a face do pilar, caracterizando uma ruptura por corte direto.

Este tipo de ruptura acontece geralmente quando o ponto de aplicação do carregamento é muito próximo ao pilar. Caracteriza-se pelo aparecimento de múltiplas fissuras pequenas, inclinadas ao longo da interface console – pilar (COSTA, 2009). O aspecto da fissuração é apresentado na Figura 14c.

2.5.2.4 Outros tipos de Ruptura

Podem ocorrer ainda segundo Curty (2009), outros tipos de ruptura devido a falhas no detalhamento dos consoles curtos de concreto armado. São eles:

- Ruptura por posicionamento incorreto – ocorre quando a armadura localiza-se longe da face do console, e a causa é a ancoragem ou posicionamento incorreto da armadura que origina uma fissura que se desenvolve paralela a essa face (Figura 15a);
- Ruptura devido a força horizontal – ocorre se o valor da força horizontal (H_u) são mais acentuados devido a diferente altura do console junto ao pilar (h') e a face livre (h), observa-se uma fissura que surge na placa de apoio alcançando a face inclinada, essa fissura não se desenvolve até o pilar (Figura 15b);
- Ruptura por esmagamento local – ocorre quando a placa de apoio é muito pequena ou quando a tensão de compressão na região de aplicação do carregamento é muito elevada (Figura 15c).

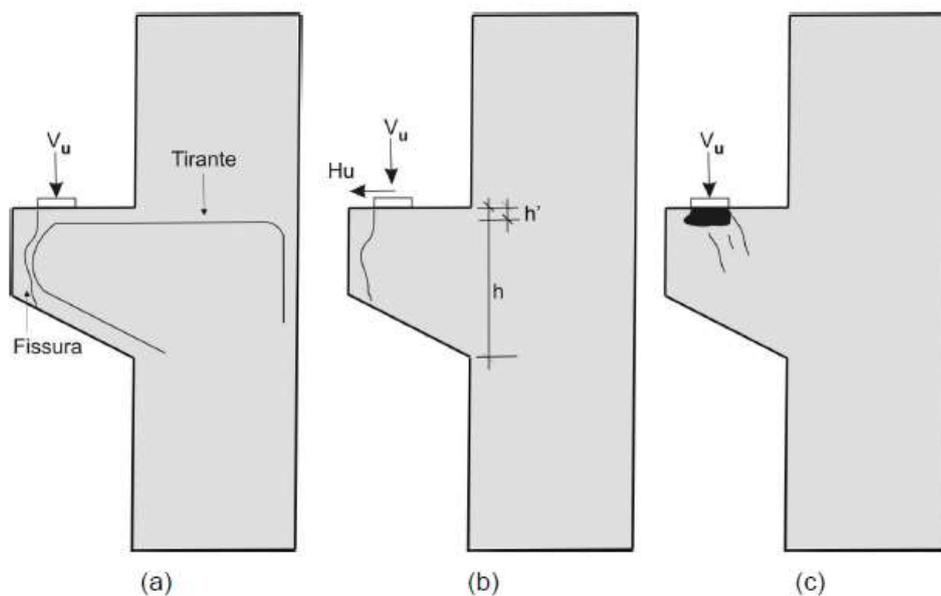


Figura 15 – Modos de ruptura: (a) falha no posicionamento; (b) força horizontal; (c) esmagamento do concreto
Fonte: Curty (2009).

2.5.3 Dimensionamento de Consoles

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

- Para $1,0 < a/d < 2,0$, o dimensionamento se faz como viga em balanço, aplicando-se as recomendações da NBR 6118:2014.
- Para $0,5 < a/d \leq 1,0$, (console curto), o dimensionamento se faz pelo método de bielas e tirantes;
- Para $a/d \leq 0,5$, (console muito curto), o dimensionamento se faz pelo modelo atrito-cisalhamento.

Portanto de acordo com as devidas referências, neste trabalho, será estudado o console curto, devido as dimensões usuais da empresa, ou seja, o método de cálculo a ser utilizado é o de bielas e tirantes. Este método foi extraído da NBR 9062:2006 e citado a seguir.

2.5.3.1 Modelo Bielas e Tirantes

Segundo El Debs (2000), o modelo de bielas e tirantes, também chamado de treliça, consiste em idealizar o comportamento do concreto, nos trechos de descontinuidade, por meio de bielas (elementos comprimidos) e tirantes (elementos tracionados). Estes são conectados por nós formando uma treliça idealizada. A posição das bielas e dos tirantes é determinada a partir do fluxo de tensões que ocorre no elemento.

Os esforços nas bielas são resistidos pelo concreto, sua capacidade resistente é limitada pela resistência a compressão do concreto e área da seção fictícia da biela. Já os esforços nos tirantes são resistidos pela armadura e sua capacidade resistente é em função da área da armadura e da tensão de escoamento do aço (EL DEBS, 2000).

2.5.3.2 Recomendações da NBR 6118:2014

Antes de realizar o dimensionamento é importante observar algumas recomendações da NBR 6118:2014 para um comportamento adequado do console:

- 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, 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 consoles e o seu consequente efeito desfavorável na inclinação da resultante F_d . 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 console, diz-se que existe “torção” do console; o comportamento estrutural que se observa, nesse caso, é o de um modelo biela-tirante fora do plano médio do console, 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.

2.5.3.3 Recomendações da NBR 9062:2006

A NBR 9062:2006 faz as considerações a serem observadas.

As constantes apresentadas a seguir são dispostas conforme Figura 16.

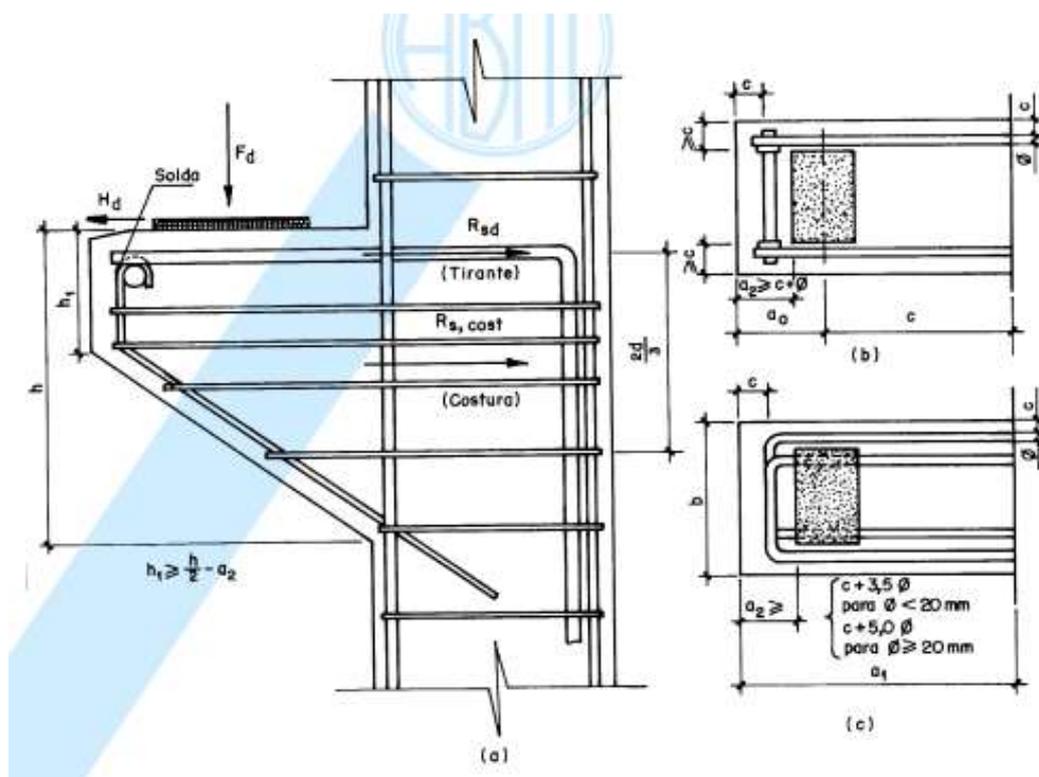


Figura 16 – Console Típico
Fonte: NBR 9062:2006.

- a) A largura (b) e o comprimento do console (a_1) devem ser determinados por fatores construtivos;
- b) A distância (a_2) da face externa da almofada de apoio a face externa do console deve obedecer a valores mínimos:

- i. $a_2 = c + \emptyset$, para o tirante ancorado por barras transversal de mesmo diâmetro;
 - ii. $a_2 = c + 3,5\emptyset$, para o tirante ancorado por alças horizontais ou verticais com $\emptyset < 20 \text{ mm}$;
 - iii. $a_2 = c + 5\emptyset$ para o tirante ancorado por alças horizontais com $\emptyset \geq 20 \text{ mm}$.
- c) Não é necessário prever armadura para impedir o fendilhamento no plano horizontal das alças do tirante para cargas diretas, quando a_2 obedecer a seguinte condição, conforme equação (1).

$$3c \leq a^2 \leq 3(c + \emptyset) \quad (1)$$

- d) O tirante deve ser localizado no quinto da altura do console junto à borda tracionada.
- e) O diâmetro da armadura de costura não deve ser maior que $\frac{1}{15}$ da menor dimensão do console 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.

São citadas também algumas considerações a respeito do detalhamento do das armaduras do console:

- a) O diâmetro das barras do tirante ancorado por alças horizontais não deve ser maior que um oitavo da menor dimensão do console na seção de engastamento ou 25 mm, e seu espaçamento não deve ser maior que $15\emptyset$ ou d.
- b) O diâmetro das barras do tirante por barra transversal soldada de mesmo diâmetro não deve ser maior que $\frac{1}{6}$ da menor dimensão do console na seção de engastamento ou 25 mm, e seu espaçamento não deve ser maior que $20\emptyset$ ou d.

- c) Para consoles com $d > 4(a + a_0)$, dispensa-se a armadura de costura, na zona dois (2), substituindo-a por armadura de pele com taxa $\rho = \frac{A_{s,min}}{b} \geq 0,002$ por face, conforme Figura 17.

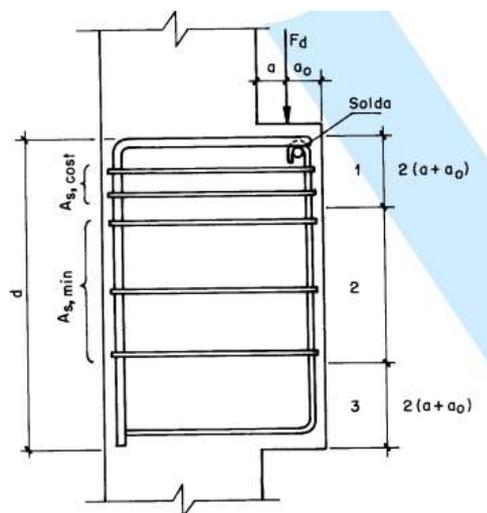


Figura 17 – Detalhe de posicionamento de armadura de costura
Fonte: NBR 9062:2006.

- d) Na face da peça suporte do console deve ser disposta armadura igual à do tirante, na forma de barras nos pilares e nervuras verticais.
- e) Fica proibida a execução de consoles com tirantes ancorados por alças verticais para diâmetros de barras maiores que 16 mm.
- f) No caso de utilização de consoles com tirantes ancorados por alças verticais deverá ser atendida a distância a_2 mínima da almofada de apoio às faces frontal e lateral.

2.5.3.4 Roteiro de Cálculo

No cálculo de consoles recomenda-se a introdução de coeficientes de ajustamento γ_n , afetando o coeficiente de ponderação das ações. Os valores indicados pelas NBR 9062:2006 são apresentados na Tabela 01.

Tabela 01 – Coeficientes de ajustamento para consoles indicados pela NBR 9062:2006

	VALORES DE γ_n	
	Quando a força permanente for preponderante	Caso contrário
Elemento pré-fabricado	1,0	1,1
Demais casos	1,1	1,2

Fonte El Debs (2000).

De acordo com El Debs (2000), a aplicação da força no console, no caso de estruturas de concreto pré-moldado, é, em geral, direta. Quando ocorrer aplicação de força indireta, se deve ater as particularidades na verificação do esmagamento da biela e no arranjo da armadura. No entanto, para o caso de console curto que é o foco deste trabalho, pode-se verificar o esmagamento do concreto a partir da Figura 18.

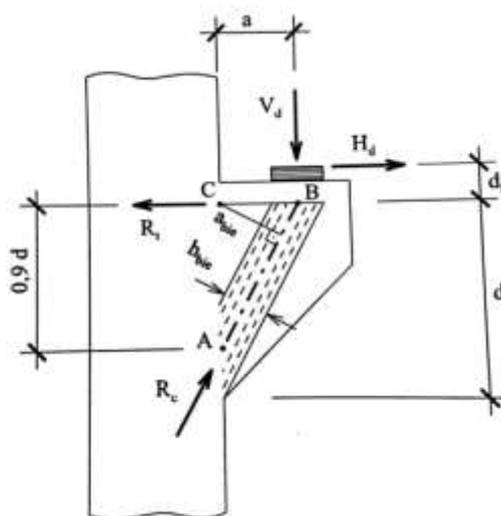


Figura 18 – Modelo de análise e características geométricas de console curto
Fonte: El Debs (2000).

Deve-se obrigatoriamente levar em consideração, além da força vertical (F_d), as forças horizontais (H_d). A NBR 9062:2006 indica que sejam desprezados eventuais efeitos favoráveis de cargas horizontais que comprimam o plano de ligação entre o console e o elemento de sustentação. Deve-se considerar ainda que o efeito de cargas horizontais que tracionem o plano de ligação entre o console e o elemento de sustentação, seja absorvidas integralmente pelo tirante.

Na ausência de movimentos horizontais, a força horizontal (H_d) pode ser estimada pela força vertical (F_d), como:

- 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 elastômero;
- d) $H_d = 0,08 F_d$ para almofadas revestidas com plástico politetraflouretileno;
- e) $H_d = 0,25 F_d$ para apoios entre chapas metálicas e não soldadas;
- f) $H_d = 0,4 F_d$ para apoios entre concreto e chapa metálica;
- 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.

a) Verificação da Biela Comprimida

Inicialmente buscam-se os valores da reação de compressão R_c para então chegar-se a tensão de compressão na biela. Desta forma, calcula-se a distância a_{bie} , conforme equação (2) e a altura h_{bie} conforme equação (3).

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

$$h_{bie} = 0,2d \quad (3)$$

Do equilíbrio de momentos em relação ao ponto C, de acordo com a Figura 17, tem-se a reação R_c obtida pela expressão (4).

$$R_c = \frac{V_d a + H_b d_h}{a_{bie}} \quad (4)$$

Substituindo o valor de a_{bie} , obtém-se a seguinte expressão (5).

$$R_c = \frac{V_d a + H_b d h}{0,9 a} \sqrt{(0,9)^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad (5)$$

Portanto a tensão de compressão na biela é calculada com a expressão (6).

$$\sigma_c = \frac{R_c}{0,2 b d} = \frac{V_d}{b d} \left(1 + \frac{H_d d h}{V_d a}\right) 5,55 \sqrt{0,9^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad (6)$$

Para simplificar a expressão (6), despreza-se o valor da parcela $H_d d h / V_d a$ que, para casos usuais é menor que 0,06, e tem-se a tensão de compressão com a equação (7).

$$\sigma_c = \frac{V_d}{b d} 5,55 \sqrt{(0,9)^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad (7)$$

Limitando o valor da tensão na biela em βf_{cd} e colocando em termos de tensão de referência, tem-se (8).

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b d} \leq \tau_{wu} \quad (8)$$

Com (9):

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

O valor de β pode ser assumido igual a 1,0, para forças diretas e 0,85 para forças indiretas, de acordo com a NBR 9062:2006.

Considerando o valor de β igual a um (1), tem-se os seguintes valores particulares χ relativos a tensão tangencial de referência:

$$\frac{a}{d} = 1,0 \rightarrow \chi = 0,134$$

$$\frac{a}{d} = 0,5 \rightarrow \chi = 0,175$$

De acordo com El Debs (2000), encontra-se na literatura técnica indicações para os valores de tensão última na faixa de $0,2f_{cd}$ a $0,25f_{cd}$.

Para o cálculo da armadura necessária para suportar tração no tirante, seguem-se os seguintes passos, conforme NBR 9062:2006.

b) Cálculo da armadura do tirante

Na seção de engastamento, a taxa mecânica de cálculo $\omega = \rho \frac{f_{yk}}{f_{ck}}$, deve estar os limites 0,04 e 0,15 para os consoles com $a/d \leq 2,0$, onde ρ é expresso pela equação (10).

$$\rho = \frac{A_{s,tir}}{bd} \quad (10)$$

Onde:

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

A armadura total do tirante é calculada pela equação (11).

$$A_{s,tir} = A_{sv} + \frac{H_d}{f_{yd}} \quad (11)$$

Onde A_{sv} é obtido pela equação (12).

$$A_{sv} = \left(0,1 + \frac{a}{d}\right) \frac{F_d}{f_{yd}} \quad (12)$$

c) Armadura de Costura

Segundo NBR 9062:2006, item 7.3.6, a armadura de costura é obrigatória e adequada para consoles curtos, e deve ser distribuída em $2/3$ de d , adjacentes ao tirante, adota-se o valor de acordo com (13).

$$(A_s)_{cost} \geq 0.4(A_{sv}) \quad (13)$$

d) Armadura transversal

De acordo com EI DEBS (2000), os estribos verticais podem ser escolhidos tomando por base valores mínimos para vigas. No entanto a quantidade deve ser maior que $0,2A_{s,tir}$.

e) Ancoragem da armadura do tirante

De acordo com o que prescreve a NBR 6118:2014, p. 32, item 9.4.1, todas as barras das armaduras devem ser ancoradas de forma que as forças a que estejam submetidas sejam integralmente transmitidas ao concreto, seja por meio da aderência ou de dispositivo mecânico ou por combinação de ambos.

Segundo EI Debs (2000), para evitar a ruptura do concreto na extremidade do console, 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, conforme indicado na Figura 19.

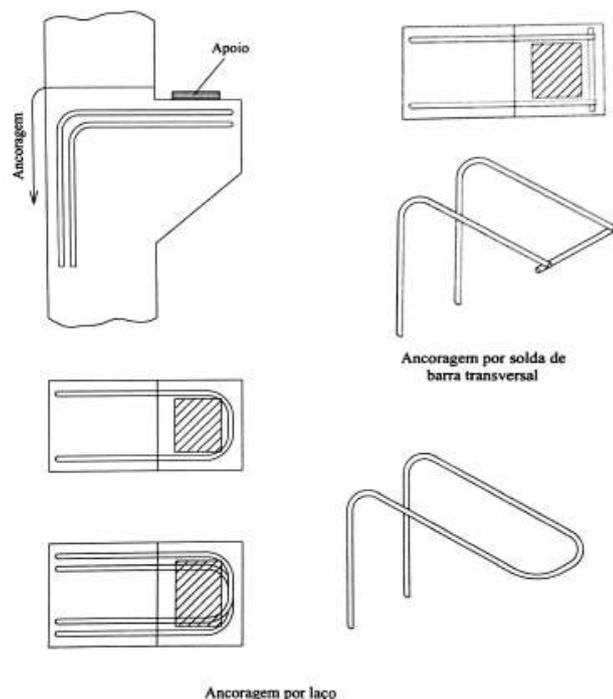


Figura 19 – Ancoragem da armadura do tirante
Fonte: El Debs (2000).

Ainda, segundo El Debs (2000), há indicação prática para o caso de console de que a barra do tirante está suficientemente ancorada se houver uma barra transversal soldada de diâmetro igual ou superior ao tirante. O que se deve às fortes tensões de compressão transversais. Pela mesma razão, o raio de dobramento da ancoragem por laço pode chegar a 5ϕ para barras com $\phi \leq 20 \text{ mm}$.

El Debs (2000) indica que as barras do tirante podem ser ancoradas dobrando a armadura para baixo quando o console for muito largo. Segundo NBR 9062:2006, isto é permitido para b (largura do console) quatro vezes maior que o comprimento do console e, ainda assim, se não houver forças horizontais de grande magnitude, para não lascas a extremidade do console. Neste caso, recomenda-se que sejam satisfeitas condições tanto de ancoragem da armadura quanto da distância entre a extremidade do ponto de transmissão da força e o início de dobramento, essa condição é válida para barras que se encontram a mais de 70 mm das faces laterais.

A partir dos requisitos da NBR 6118:2014 e da NBR 9062:2006, e após os cálculos e procedimentos citados acima, observa-se o arranjo da armadura do console, conforme Figura 20.

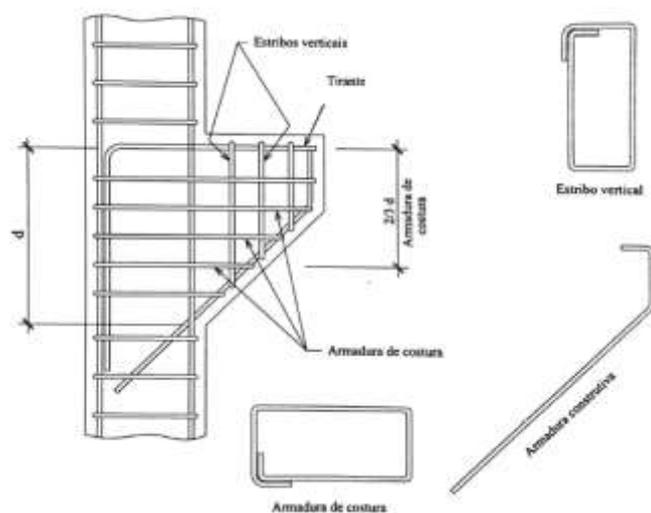


Figura 20 – Esquema da Armadura do console
Fonte: El Debs (2000).

2.6 ESTUDOS EXPERIMENTAIS ENCONTRADOS NA BIBLIOGRAFIA

Neste capítulo são apresentados e analisados ensaios experimentais de consoles curtos realizados por outros pesquisadores.

2.6.1 Ensaio Experimental 1 - Curty (2009)

A pesquisadora teve como objetivo medir o grau de melhoria nos consoles curtos de concreto armado com a inserção de fibras de carbono. Para isto, ela utilizou seis corpos de prova, sendo cinco desses reforçado com fibra de carbono e um console sem reforço como referência.

Os consoles foram moldados de acordo com as dimensões apresentadas na Figura 21.

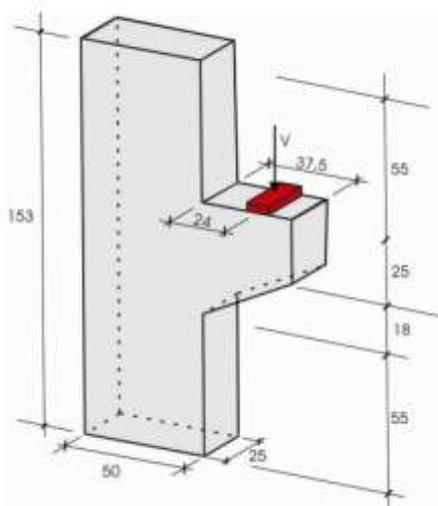


Figura 21 – Geometria dos consoles (medidas em cm)
Fonte: Curty (2009).

A razão a/d é igual a 0.59, sendo assim classificado como console curto.

Nas armaduras de aço interna dos consoles, foram colocados seis extensômetros elétricos de resistência, para possibilitar o acompanhamento das deformações específicas dessas armaduras.

Cada console foi instrumentado com duas rosetas para medir as deformações específicas no concreto.

Para realização dos ensaios foi preciso esquematizar uma estrutura que evitasse a rotação indesejada e que favorecesse um bom funcionamento do conjunto. Adotou-se uma excentricidade de 10 cm em relação ao eixo do pilar para aplicação da força no pilar.

Os elementos utilizados na preparação e realização do ensaio estão esquematizados conforme Figura 22.

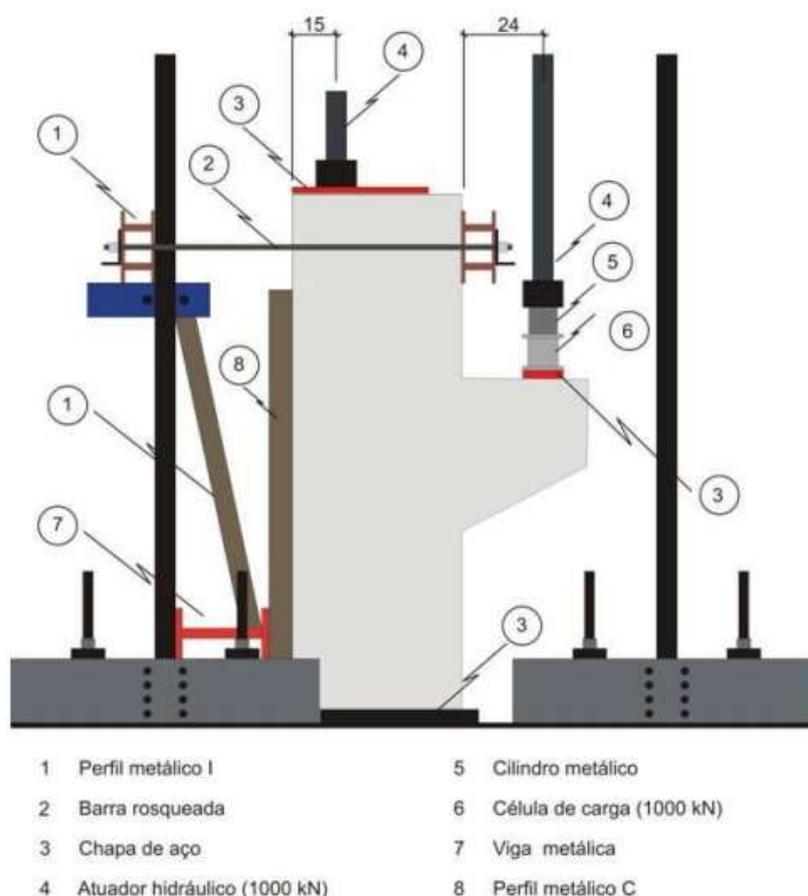


Figura 22 – Esquema do ensaio
Fonte: Curty (2009).

O carregamento foi aplicado por meio de um atuador hidráulico. Para aplicação do carregamento nos consoles foram seguidos os procedimentos:

- Primeiramente foi aplicada uma força de acomodação no pilar, visando-se verificar o comportamento da instrumentação e da montagem;
- O carregamento no console foi aplicado em incrementos de 10 kN até a ruptura;
- O carregamento foi aplicado de forma similar em todos os consoles.

Para aquisição de dados foram utilizados dois equipamentos da NATIONAL INSTRUMENTS, controlados pelo software computacional LABVIEW 8.2. O controle da força foi realizado por dois transdutores de pressão, ligados a bombas hidráulicas de pressão.

De acordo com a autora, pelos resultados experimentais obtidos pode-se concluir que o reforço estudado aumentou em média a capacidade resistente desses elementos estruturais. As bielas de concreto dos consoles reforçados apresentou

comportamento similar ao das bielas do console sem reforço, e o fator de efetividade do reforço é aproximadamente 20%.

2.6.2 Ensaio Experimental 2 - Naegeli (1988)

Foram ensaiados sete consoles até a ruptura. Quatro peças foram submetidas a um carregamento axial uniforme distribuído sobre a face superior do pilar, além do carregamento aplicado sobre o console, enquanto que as demais não receberam carregamento sobre o pilar.

A geometria e as dimensões dos consoles e suas principais características são apresentados na Figura 23.

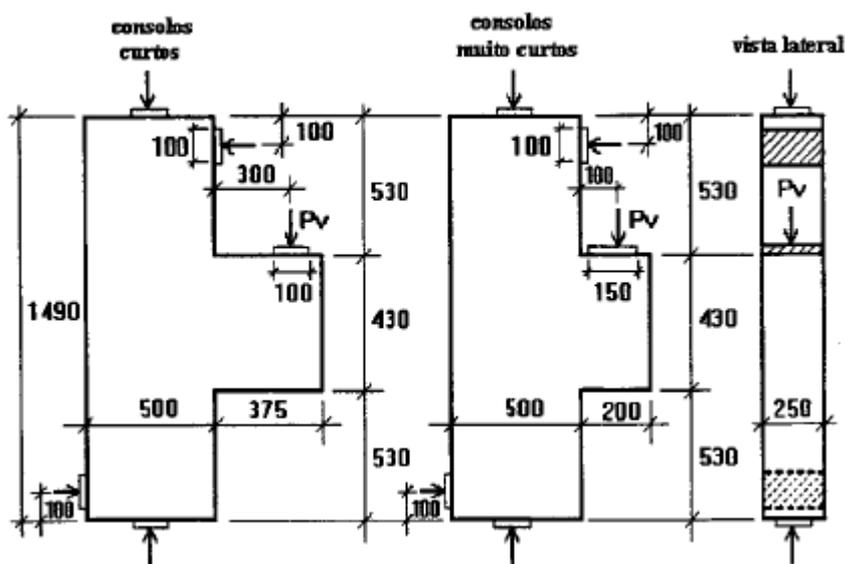


Figura 23 – Geometria de dimensões dos consoles (medidas em mm)
Fonte: Naegeli (1988).

A disposição da armadura dos consoles ensaiados encontra-se esquematizados na Figura 24.

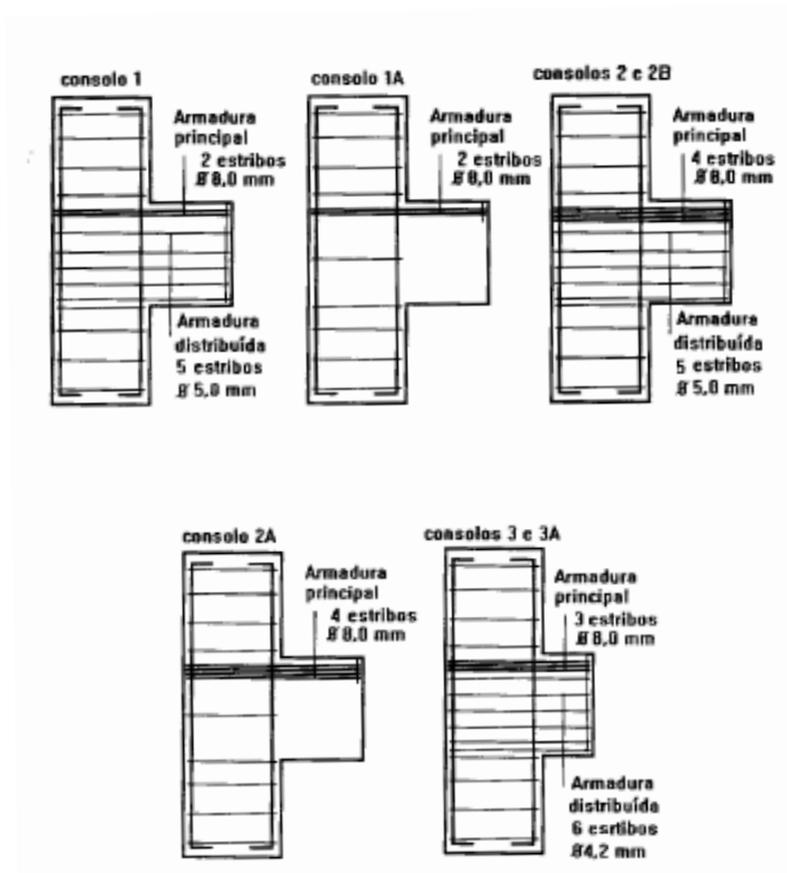


Figura 24 – Armadura dos consoles ensaiados
 Fonte: Naegeli (1988).

Dentre todos os consoles ensaiados, dois apresentaram ruptura por flexão caracterizada pelo escoamento da armadura principal, três apresentaram ruptura da diagonal comprimida por cortante e dois apresentaram ruptura ao longo da interface do consolo com o pilar.

A Figura 25 mostra a forma de aplicação da carga e o aspecto da fissuração dos consoles após a ruptura.

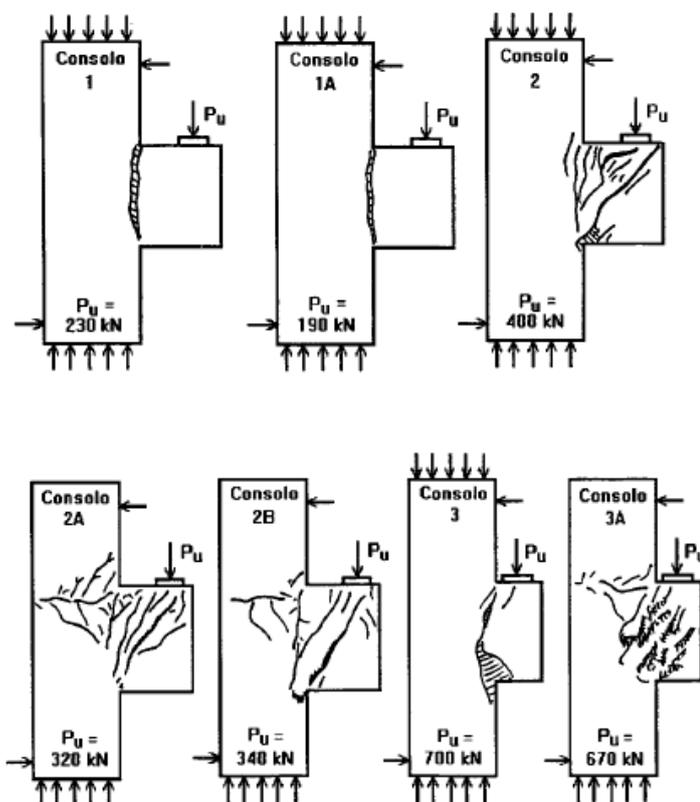


Figura 25 – Aspectos das peças ensaiadas
Fonte: Naegeli (1988).

A partir dos ensaios a pesquisadora pode concluir que houve significativa diferença de comportamento apresentado pelas peças não simétricas ensaiadas quando comparada com peças simétricas. A armadura de costura distribuída se mostrou importante no controle da fissuração dos consolos.

3. METODOLOGIA

De acordo com Lakatos e Marconi (2001), o método científico é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo - conhecimentos válidos e verdadeiros -, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

Na visão de Cervo, Bervian e da Silva (2007), método científico é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir certo fim ou um resultado desejado. Concretiza-se através do conjunto das diversas etapas ou passos que devem ser seguidos para a realização da pesquisa e que configuram as técnicas. Os objetivos de investigação determinam o tipo de método a ser empregado.

Todas as ciências caracterizam-se pela utilização de métodos científicos; em contrapartida, nem todos os ramos de estudo que empregam estes métodos são ciências. Dessas afirmações pode-se concluir que a utilização de métodos científicos não é da alçada exclusiva da ciência, mas não há ciência sem o emprego de métodos científicos (LAKATOS E MARCONI 2001).

Segundo Fachin (2001), pode-se classificar a pesquisa como quantitativa e qualitativa. A pesquisa quantitativa, segundo o autor, é uma maneira de atribuir números a propriedades. Por outro lado, a pesquisa qualitativa é caracterizada por atribuir aspectos descritivamente e não somente valores mensuráveis.

De modo geral, num estudo quantitativo o pesquisador conduz seu trabalho a partir de um plano estabelecido, com hipóteses claramente especificadas e variáveis definidas. Preocupa-se com medição objetiva e a quantificação dos resultados. Busca precisa, evitando distorções na etapa de análise e interpretação de dados, garantindo assim uma margem de segurança (GODOY 1995).

Gil (2002) diz que o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa. A pesquisa experimental consiste em determinar o objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Nesse sentido, o estudo em questão é de caráter quantitativo e qualitativo, tendo visto que será desenvolvida uma análise teórica e experimental, com objetivo de obtenção de resultados para comparativo entre os métodos adotados.

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

As etapas para realização do presente estudo comentado acima são divididas nos seguintes itens:

- Estudo do tema em referencial bibliográfico;
- Estudo do método utilizado pela empresa, por meio de visitas e acompanhamento do método executivo;
- Desenvolvimento de um protótipo para estudo de viabilidade do experimento dentro das condições dispostas pela universidade;
- Análise do método utilizado para obtenção dos resultados;
- Realização do experimento conforme visto no referencial bibliográfico e estudo de viabilidade;
- Análise e discussão dos resultados;
- Conclusões e sugestões.

De modo a facilitar o entendimento das etapas desenvolvidas da pesquisa, apresenta-se um diagrama que mostra o caminho até a obtenção dos objetivos, conforme Figura 26.

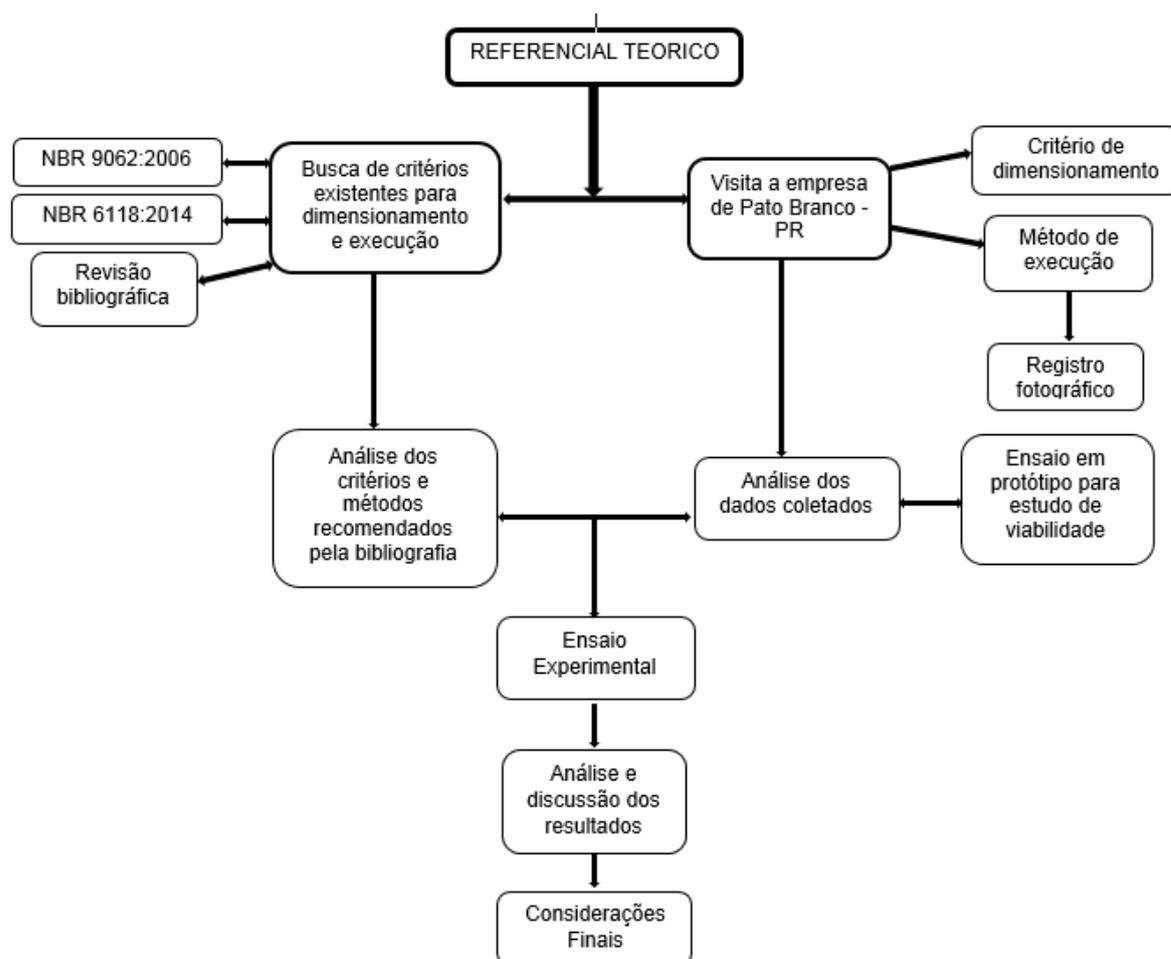


Figura 26 - Diagrama das etapas de pesquisa
Fonte: Autoria Própria (2015).

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, que é estabelecer um comparativo entre dois métodos de dimensionamento e execução de consoles monolíticos curtos de pilares pré-moldados, traçou-se o diagrama apresentado na Figura 26, onde após estudo bibliográfico a pesquisa dividiu-se em dois caminhos, um para o método sugerido pela NBR 9062:2006 e seus critérios, assim como para o método da empresa que ocorreu através de visitas e informações recolhidas. Após obter todas as informações necessárias para ambos, foi feita uma análise de todos os dados coletados e surgiu a necessidade de um teste para ter certeza da viabilidade dos ensaios no laboratório da universidade. A partir disso, determinou-se os parâmetros necessários para a realização dos ensaios, como dimensões e ferramentas a serem utilizadas. Realizados os ensaios experimentais, fez-se a análise e discussão dos resultados obtidos para desta forma conseguir responder as perguntas impostas no início deste trabalho.

3.2 PROCEDIMENTO DO EXPERIMENTO

Este capítulo descreve o procedimento do experimento, realizado com seis corpos de prova com console curto de concreto armado, sendo três de acordo com o método empregado em empresa de Pato Branco - PR e três de acordo com o método sugerido pela NBR 9062:2006. Essa quantidade é a mínima necessária para se obter dados confiáveis, tendo em vista o custo, dificuldade de manuseio e transporte.

De acordo com as visitas à empresa, mais especificamente durante a produção dos pilares com console, foram identificadas as medidas, a geometria e a atuação das cargas neste elemento, para então buscar na literatura ensaios experimentais já realizados com o modelo mais próximo do estudo de caso. A partir disto, como citado no referencial teórico, os modelos Naegeli (1988) e Curty (2009), assemelham-se a solicitação que o console deverá suportar na prática.

Como base para o ensaio experimental adotou-se o modelo de Curty (2009), por ser o mais recente e por apresentar as mesmas características das condições e dos equipamentos disponíveis no laboratório de estruturas da UTFPR Câmpus Pato Branco, para realização dos ensaios.

Dentre os equipamentos utilizados para a realização do ensaio dos consoles curtos, foi utilizado o pórtico estrutural, com capacidade de 25 toneladas e conjunto hidráulico. Suas dimensões e geometria são mostradas na Figura 27.

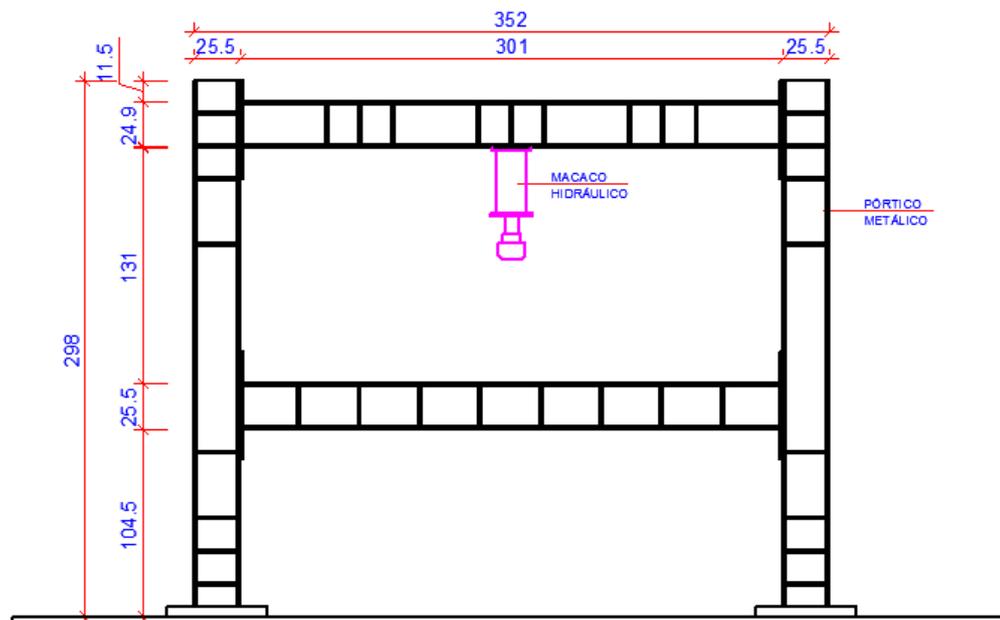


Figura 27 - Pórtico metálico utilizado no experimento (medidas em cm)
Fonte: Autoria Própria (2015).

Também foi utilizada a célula de carga HBM U10M, com faixa nominal de medida de 125KN (Figura 28) para medir a intensidade da carga aplicada por meio do conjunto hidráulico sobre o corpo de prova.



Figura 28 - Transdutor de Força HBM U10M
Fonte: HBM (2015).

Para a aquisição e leitura dos dados fornecidos pela célula de carga foi utilizado o MX840B, que é um amplificador universal de 8 canais do sistema de aquisição de dados QuantumX da HBM (Figura 29).



Figura 29 - Quantum X MX840A - Amplificador Universal de 8 Canais
Fonte: HBM (2015).

Para a visualização e análise dos dados, o software CatmanEasy 3.0 (Figura 30), fez a aquisição a partir do receptor e tornou possível a interpretação dos resultados.



Figura 30 - Interface software CatmanEasy 3.0
Fonte: Autoria Própria (2015).

A dimensão final do pilar foi obtida com o auxílio de dois protótipos (Figura 31) de pilares, colocados na posição de ensaio, observando as alterações necessárias para o encaixe perfeito do elemento no pórtico.

Esses protótipos preliminares foram provenientes da empresa e confeccionados com sobra de material, pois o objetivo não foi analisar os resultados, mas sim verificar a viabilidade do ensaio experimental e determinar as dimensões finais do corpo de prova.

A altura dos consoles desses dois protótipos foi diferente para cada um, a fim de determinar a altura mais adequada, de acordo com o limite de altura do pórtico. A seção do pilar de 25x25cm mostrou-se inviável devido à dificuldade de transporte e manuseio, e, a partir disso, a seção adotada foi de 20x20cm.

Após algumas dificuldades durante o procedimento do ensaio com os dois protótipos e algumas alterações previstas, assim como novas adaptações para a célula de carga, constatou-se a viabilidade do ensaio com as ferramentas disponíveis no laboratório da Universidade, podendo assim dar sequência ao estudo.



Figura 31 – Protótipos preliminares para testes iniciais dos dispositivos de ensaio
Fonte: Autoria Própria (2015).

As dimensões dos consoles são as mesmas dimensões utilizadas na empresa, buscando aproximar os resultados obtidos da realidade. Essas dimensões, tanto do pilar quanto do console, estão mostradas na Figura 32.

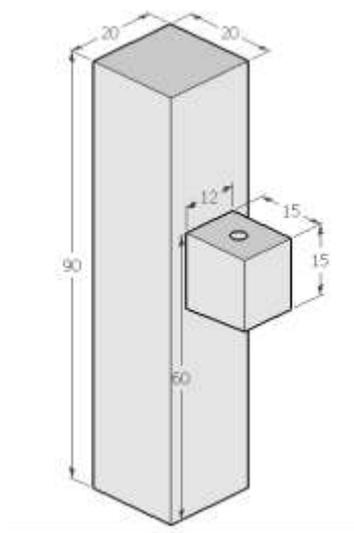


Figura 32 - Geometria do corpo de prova (medidas em cm)
Fonte: Autoria Própria (2015).

O concreto para a moldagem dos corpos de prova teve o mesmo traço utilizado na empresa, apresentado na Tabela 02, Uma vez que o foco deste estudo é analisar e comparar os métodos construtivos e não o estudo do traço usado para o concreto, para que a empresa possa fazer uso dos resultados obtidos. Também é importante ressaltar que os corpos de prova foram moldados de dois em dois, com a mesma betonada e ainda foram recolhidas amostras de concreto para a realização de ensaios de compressão para cada dosagem de concreto, para que o resultado seja o mais confiável.

Tabela 02 – Traço do concreto

MATERIAL	QUANTIDADE (Kg)
Cimento (ARI)	1,00
Areia Natural	1,48
Areia Artificial	1,71
Brita 1	4,13
Água	0,70

Fonte: Aatoria Própria, 2016.

Para o pilar foi definida uma armadura mínima, de modo que resista aos esforços solicitantes sem influenciar no resultado do ensaio que tem como foco o console. O detalhe da armadura está identificado na Figura 33.

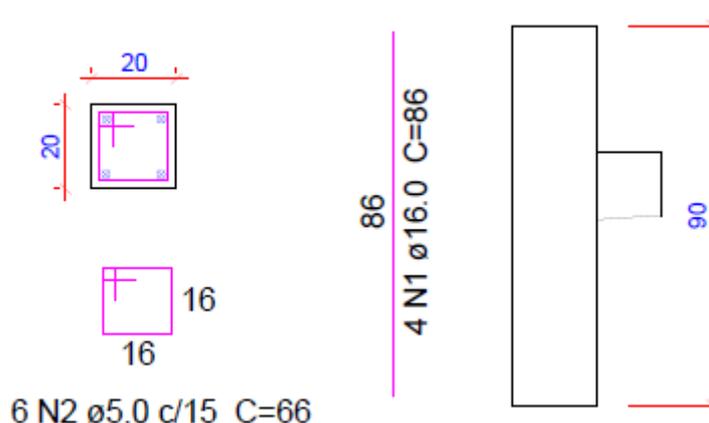


Figura 33 - Detalhamento da armadura do pilar (medidas em cm)
 Fonte: Aatoria Própria (2015).

Quanto à armadura do console, ficou definida da seguinte maneira: os corpos de prova do método da empresa seguiram o mesmo padrão por ela adotado, já, a armadura do método sugerido pela NBR 9062:2006, foi dimensionado de acordo com seus critérios, conforme Anexo A. Contudo, a armadura principal (tirante) ficou a mesma para ambos os métodos, variando as demais armaduras e a ancoragem dos tirantes.

Após a realização dos testes nos protótipos preliminares, definindo as medidas e os demais parâmetros, tem-se o esquema definitivo dos ensaios a serem realizados, conforme mostra a Figura 34.

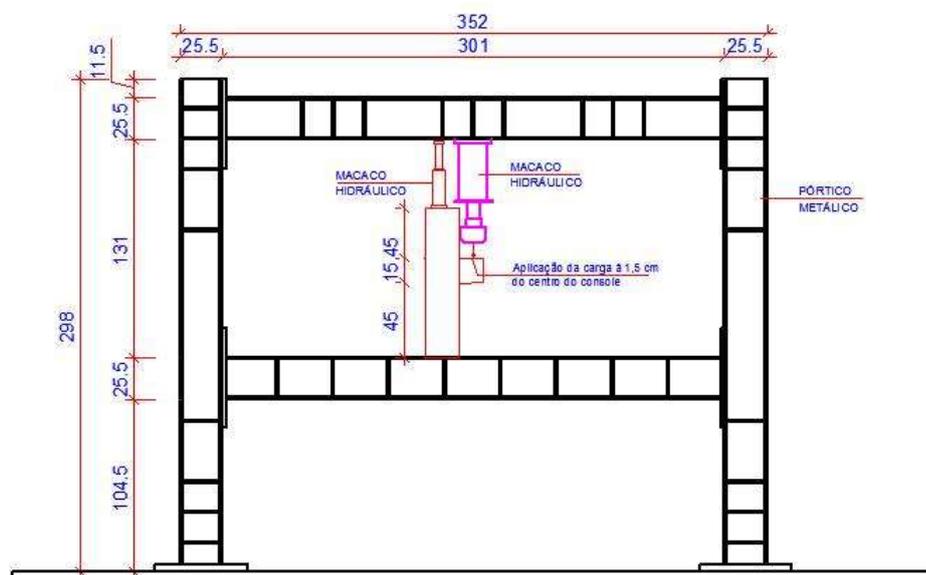


Figura 34 - Esquema definitivo do ensaio (medidas em cm)
Fonte: Autoria Própria (2015).

4. ESTUDO DE CASO

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O estudo de caso foi realizado em empresa de fabricação e comércio de pré-moldados, desde 2004 a empresa está no mercado da construção civil, especificamente na área de pré-moldado, oferecendo ao mercado produtos como: estruturas de concreto pré-moldado e sistemas de coberturas metálicas.

O seu quadro funcional é composto por aproximadamente vinte funcionários, exercendo funções técnicas, administrativas e operacionais. A parte da administração coordena as áreas de vendas e *marketing* (controla as estratégias de venda), de recursos humanos (seleciona funcionários e organiza os pagamentos), de aquisição (compra de insumos) e de orçamentos (custo final de cada obra). Já a parte da engenharia, constituída por dois engenheiros e um arquiteto, fica encarregada de desenvolver os projetos (estrutural, arquitetônico, hidrossanitário, elétrico e prevenção de incêndio), bem como coordenar a produção das peças e a execução das obras. Os demais funcionários cuidam da parte da fabricação e montagem, onde se dividem em quatro setores: armadura, concreto, consoles e montagem.

O processo de produção das peças pré-moldadas na empresa passa por cada setor da fabricação. O dimensionamento e detalhamento são realizados pelo Engenheiro que calcula e que encaminha o detalhamento aos armadores, os quais cortam, dobram e amarram as peças de acordo com o projeto. Em seguida, as armaduras são levadas até as fôrmas que já devem estar limpas e com o desmoldante, e ali são posicionadas. A fôrma quando fechada está pronta para receber o concreto, este produzido na central de concreto. Durante este processo de concretagem já é realizado o acabamento das peças. No dia seguinte, a peça é içada, retirada da fôrma, posicionada no local próprio para confecção dos consoles e o acabamento final. Com as peças acabadas, conferidas e após alguns dias para a cura do concreto, estão prontas para serem levadas até o local da obra, onde são montadas com auxílio do caminhão tipo Munck ou guindaste.

4.2 DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DO CONSOLE CONFORME A EMPRESA

Com as visitas realizadas, durante o estudo de caso na empresa, constatou-se que a empresa trabalha de duas maneiras para construir (produzir) os consoles. Uma delas é construindo diretamente na fôrma, para posteriormente serem concretados junto com os pilares, conforme a Figura 35. Esta é a maneira mais adequada, pois segue os padrões indicados pela NBR 9062:2006 de dimensionamento e execução da armadura, como citado no item 2.5.3 quanto ao dimensionamento do console, evitando também as juntas frias, devido à concretagem posterior. No entanto, este procedimento se torna difícil, pois as fôrmas necessitam de detalhes especiais para cada projeto, dificultando o processo quando os elementos são moldados em linha de produção (série).



Figura 35 - Consoles concretados juntamente com as peças
Fonte: Autoria Própria (2015).

Já a outra maneira de procedimento encontrada pela empresa é executando-os depois do pilar ser retirado da fôrma, método este alvo do estudo de caso abordado neste trabalho.

Neste procedimento, a empresa inicialmente dimensiona os consoles um a um com as cargas solicitantes de projeto, seguindo os critérios da NBR 9062:2006.

No entanto, com o passar do tempo, vendo que o dimensionamento convergia para uma quantidade de aço na composição das armaduras para cargas de até 7 toneladas, e buscando facilidade e praticidade na produção, adotou-se um padrão de procedimento. Neste, foi mantido o mesmo critério de dimensionamento para armadura principal, e para as demais armaduras foram feitas alterações, como a eliminação da armadura de costura e adotou-se um padrão para armadura transversal.

No padrão adotado pela empresa, a armadura na parte superior do console (tirante) é de 2 Φ 12.5 mm e 2 Φ 12.5 mm na parte inferior, não possui armadura de costura como mencionado anteriormente e, como armadura transversal possui 2 Φ 5.0 mm a cada 5 cm (Figura 36). É importante destacar que devido ao processo de execução, a ancoragem das barras é feita com o auxílio do adesivo estrutural, à base de resina epóxi.

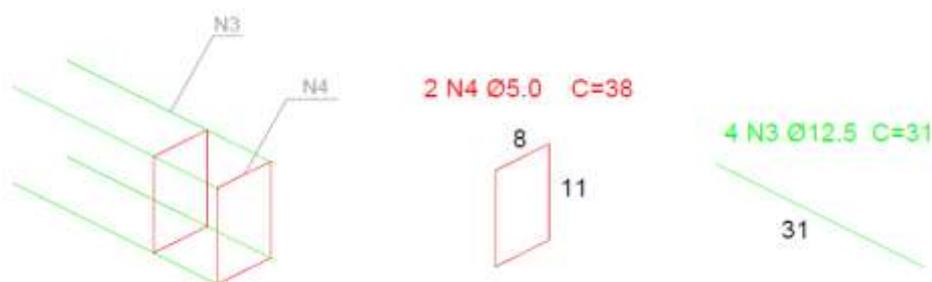


Figura 36 – Detalhamento console método da empresa
Fonte: Autoria Própria (2016).

A execução do console ocorre com a demarcação do mesmo na face do pilar, e são executados quatro furos com o auxílio de uma furadeira na posição da sua armadura, como se pode observar na Figura 37.



Figura 37 - Furos onde serão posicionadas as barras de aço
Fonte: Autorial Própria (2015).

As barras de aço são ancoradas com o adesivo estrutural à base de resina epóxi, o Sikadur 32, o qual é aplicado em torno da barra, na região que adentrará no pilar, e através de golpes com martelo são introduzidos nos furos (Figura 38). Em seguida, é feita a amarração dos estribos, conforme Figura 39.



Figura 38 - Armadura do console
Fonte: Autorial Própria (2015).



Figura 39 – Detalhe da amarração do estribo
Fonte: Autorial Própria (2015).

Após passar o desmoldante, no molde metálico, o mesmo é posicionado sobre as marcações na posição correta (Figura 40). A concretagem é feita com o mesmo concreto utilizado nos pilares, no entanto, por se tratar de uma peça pequena, não pode ser adensado com vibrador, mas sim adensado por golpes. E por fim, é feito o acabamento da peça com uso de colher de pedreiro.

O maior problema identificado nesta etapa foi a falta de um profissional qualificado para a realização desse serviço.



Figura 40 – Posicionamento do molde metálico
Fonte: Autorial Própria (2015).



Figura 41 – Console concretado
Fonte: Autorial Própria (2015).

A Figura 41 apresenta o console finalizado, e os tons de cores diferentes de concreto identificam que o pilar foi concretado em data anterior ao concreto do console.

4.2.1 Sikadur® 32

Segundo dados contidos nas informações técnicas do fabricante, este é um adesivo estrutural à base de resina epóxi, de média viscosidade (fluido), bi componente e de pega normal, especialmente formulado para ancoragens em geral e colagens de concreto velho com concreto novo e também para colagem de chapas metálicas ao concreto. Embora possua consistência fluida, não é autonivelante.

A ficha do produto ainda mostra algumas especificações para uso, como:

- Temperatura de aplicação: Min = +10°C e Max = +30°C;
- Resistência a Compressão:
 - 1 dia = 60 MPa (25°C; 50% u.r.a);
 - 7 dias = 90 MPa (25°C; 50% u.r.a);
- Resistência a 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.

4.3 DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DO COSOLE CONFORME NBR 9062:2006

O dimensionamento dos elementos estruturais deve seguir critérios estabelecidos por normas, no caso de consoles, a NBR 9062:2006 é a que estabelece os parâmetros para o dimensionamento e execução de elementos pré-moldados. Portanto, para a fabricação dos corpos de prova para os ensaios experimentais foi feito o dimensionamento dos consoles conforme esta norma, para posterior comparação com o método adotado pela empresa. O Apêndice A, mostra o passo a passo para o dimensionamento.

As dimensões do console foram mantidas as mesmas que as utilizadas pela empresa do estudo de caso. No entanto, as armaduras e a forma de execução são diferentes do processo adotado por ela. No dimensionamento por meio da NBR 9062:2006 são calculadas três armaduras e o comprimento necessário para a ancoragem. Os cálculos realizados e seus respectivos valores estão presentes no Apêndice A, e o detalhamento obtido pode ser observado na Figura 42.

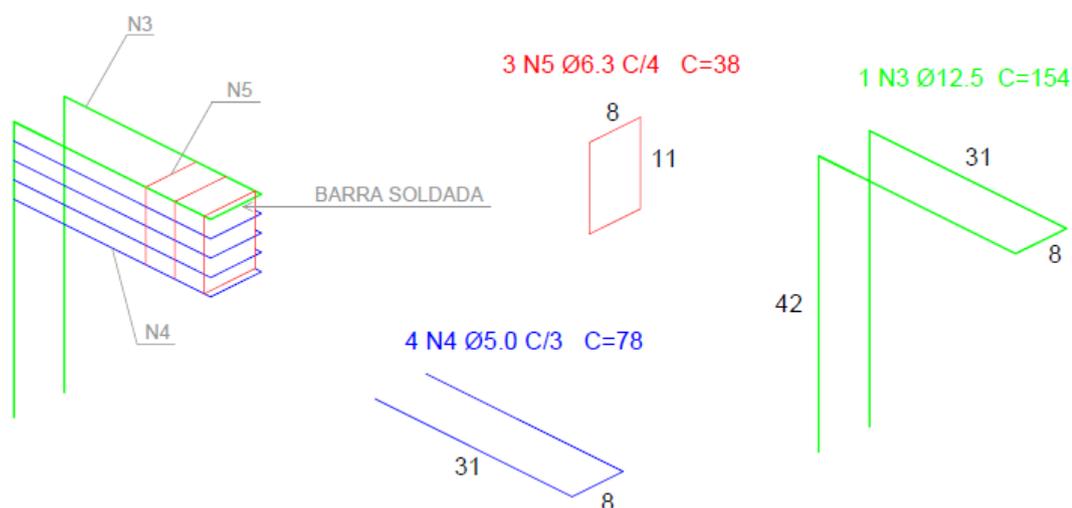


Figura 42 – Detalhamento console método da NBR 9062:2006
Fonte: Autoria Própria (2016).

A execução é feita inicialmente com o posicionamento e amarração das armaduras na fôrma (Figura 43), com o auxílio dos espaçadores para garantir o cobrimento exigido pela classe de agressividade ambiental e, na sequência, é

realizada a concretagem dos elementos em uma única etapa (Figura 44), e por fim, o adensamento (Figura 45) do concreto.



Figura 43 – Armaduras posicionadas na fôrma
Fonte: Autoria Própria (2015).



Figura 44 – Concretagem dos elementos em etapa única
Fonte: Autoria Própria (2015).



Figura 45 – Adensamento do concreto
Fonte: Autoria Própria (2015).

4.4 DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS

Os métodos apresentam diferenças significativas em suas armaduras e métodos executivos, como já descritos. O objetivo do estudo de caso é avaliar estas

duas maneiras de dimensionamento e execução de console de concreto armado e, identificar as cargas que suportam no ensaio experimental a fim de obter os resultados das cargas e ainda se existe diferenças significativas entre eles.

A primeira disparidade identificada foi em relação às armaduras, conforme mostra a Tabela 03. Nela, está discriminada cada uma das armaduras e a quantidade de aço adotada, conforme cada método.

Tabela 03 – Diferenças das armaduras

ARMADURAS	MÉTODO DA EMPRESA	MÉTODO DA NBR 9062:2006
Armadura Superior	2 Φ 12.5 mm	2 Φ 12.5 mm
Armadura Inferior	2 Φ 12.5 mm	Não Possui
Armadura de Costura	Não Possui	4 Φ 5.0 mm c/2 cm
Armadura Transversal	2 Φ 5.0 mm c/6.5 cm	3 Φ 6.3 mm c/4 cm
Ancoragem	Sikadur 32	42 cm

Fonte: Aatoria Própria, 2016.

Ao analisar as armaduras existentes nos consoles dimensionados pelos dois métodos fica evidente que há diferenças entre armaduras, e que esta disparidade será evidenciada, ou não, depois de realizar o ensaio experimental.

Quanto à armadura superior ou de tirante, ambos os métodos apresentaram o mesmo resultado de armadura. Observou-se que há ausência da armadura de costura, assim como uma menor quantidade de armadura transversal no método adotado pela empresa. Para a armadura inferior, a empresa adota a mesma quantidade da armadura superior, e que também será analisada durante os ensaios.

E, por fim, a ancoragem, onde a empresa utiliza o adesivo estrutural e a norma faz o processo de ancoragem pela aderência aço-concreto.

Como foram adotadas as mesmas dimensões dos consoles para os dois métodos, será possível realizar uma análise com melhor compreensão e visualização dos arranjos das armaduras. Além da análise das diferenças entre as armaduras, será realizada uma avaliação entre os processos de execução do console. Ou seja, a empresa faz uso de um método alternativo que é diferente do que a norma NBR 9062:2006 recomenda.

Como forma de comparativo de diferenças é importante destacar a quantidade de aço que, no método da norma é três vezes maior que o método alternativo utilizado pela empresa. Utilizando como base o peso e levando em consideração a ancoragem, tem-se 1,32 Kg de aço no console conforme a empresa e 3,96 Kg de aço no console feito conforme método da NBR 9062:2006, o que fornece uma diferença de 300% em termos de quantidade de aço, entretanto, é importante ressaltar que a armadura principal dos tirantes possui o mesmo diâmetro e quantidade de barras, diferindo no comprimento destas barras, por conta da ancoragem que entra no corpo do pilar.

Pode-se também fazer um comparativo das quantidades de áreas das armaduras principais para ambos os métodos. Pela norma verificou-se área de aço de xx cm² com todas as armaduras (principal, transversal e de costura). Já pelo método da empresa a área de aço foi de xx cm² com as armaduras principal e transversal. Comparando as áreas de aço temos uma pequena diferença, mas deve-se observar a não ocorrência de algumas armaduras,

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As estruturas pré-moldadas estão se tornando cada vez mais comuns na construção civil. À medida que aumenta a complexidade da obra, aumenta também a dificuldade na produção e a necessidade de um controle de qualidade dos produtos, para que estes se tornem confiáveis e correspondam as necessidades impostas pelo mercado atual (NAEGELI, 1997).

Diante da necessidade de aprimorar o processo de produção das peças e aliar a produtividade, são adotados padrões de dimensionamento e execução de consoles. Porém, para que estes possam se concretizar de maneira eficaz e segura, é preciso que se tornem alvo de estudos.

O console, foco deste trabalho, corresponde a uma fase crítica neste processo produtivo, requerendo um processo executivo diferenciado para obter-se a alta produtividade necessária. No entanto, processo este que muitas vezes não satisfaz as exigências impostas pelas normas, podendo comprometer a segurança estrutural da edificação. Por isso, como proposta do estudo de caso, é feita a análise e comparação do padrão adotado pela empresa e do método sugerido pela norma através de ensaio experimental.

O procedimento de ensaio consistiu em prender o pilar ao pórtico estrutural, conforme mostrado na Figura 34, e aplicar a carga ao console por meio de um macaco hidráulico, acoplado a uma célula de carga de 125kN. Um outro macaco hidráulico, de menor dimensão, foi empregado para aplicar força ao topo do pilar, de modo a deixá-lo efetivamente preso ao pórtico, e também deixá-lo submetido a uma carga de compressão, como ocorre normalmente com os pilares.

Após a realização do ensaio dos três corpos-de-prova com consoles executados conforme método alternativo da empresa, em que houve o rompimento dos corpos-de-prova, passou-se ao ensaio dos outros três consoles, agora confeccionados com as armaduras conforme critérios da NBR 9062:2006. Contudo, estes corpos-de-prova atingiram a capacidade máxima da célula de carga sem que houvesse o rompimento, e desta forma foi necessário fazer a substituição da célula de carga por outra de maior capacidade (250kN), o que exigiu serviços de tornearia para fabricação de uma peça para fixação da célula de carga ao macaco hidráulico. Os

ensaios foram retomados na semana seguinte, tendo os corpos-de-prova atingido a ruptura, conforme será mostrado adiante.

A seguir, serão analisados e comparados os dados obtidos nos ensaios experimentais para os dois métodos, como o dimensionamento e execução conforme padrão da empresa e da NBR 9062:2006.

5.1 ANÁLISE DAS FORMAS DE RUPTURA

5.1.1 Ensaio do CP_{empresa1}

No ensaio do CP_{empresa1}, corpo de prova armado conforme método da empresa, constatou-se que as primeiras fissuras surgiram do ponto de aplicação da carga e seguiram em diagonal até linha de junção do console com o pilar, aproximadamente em 45° (Figura 46). Portanto, ocorreu o fendilhamento da biela comprimida e o esmagamento do concreto, ocasionado pela falta de armadura de costura.



Figura 46 – Ruptura CP_{empresa1}
Fonte: Autoria Própria (2016).

5.1.2 Ensaio do CP_{norma1}

Ensaando o CP_{norma1}, armado de acordo com o método recomendado pela norma, a ruptura ocorreu no concreto do cobrimento, como pode ser observado na Figura 47, devido à excentricidade. Tendo visto que, o console por ser uma peça de pequenas dimensões, qualquer diferença no posicionamento da armadura ou na aplicação da carga pode resultar neste problema.

A ruptura, descrita, normalmente acontece por falta de armação adequada que ocorre quando a armadura localiza-se longe da face do console. A causa é o posicionamento incorreto da armadura que origina uma fissura que se desenvolve paralela a essa face.



Figura 47 – Ruptura CP_{norma1}
Fonte: Autoria Própria (2016).

5.1.3 Ensaio do CP_{empresa2}

No ensaio do CP_{empresa2}, foi verificada a fissuração em diagonal que parte do ponto de aplicação da carga até a junção do console com o pilar, aproximadamente em 45°, conforme a Figura 48. Portanto, ocorreu o fendilhamento da biela comprimida e o esmagamento do concreto, ocasionado pela falta da armadura de costura.



Figura 48 – Ruptura CP_{empresa2}
Fonte: Autoria Própria (2015).

5.1.4 Ensaio do CP_{norma2}

O CP_{norma2}, corpo de prova moldado segundo método da norma, apresentou falhas na concretagem, ou seja, o concreto não preencheu todo o volume da peça, ocasionada pela alta densidade de armadura existente. Este fato deve ser observado, pois mesmo com muito cuidado durante a execução as falhas aconteceram e isto ocorre devido à alta taxa de armadura e a dificuldade no adensamento.

Pode-se observar, na apresentação dos resultados, que as falhas não influenciaram na carga suportada pelo console, ou seja, não prejudicaram os resultados do trabalho, mas na prática as peças que apresentam tal problema são condenadas e refeitas.

As fissuras que apareceram durante o ensaio (Figura 49) ocorrem quando a tensão de compressão na região de aplicação do carregamento é muito elevada, fato que pode ser observado nitidamente durante o ensaio, pois onde a carga foi aplicada o concreto esmagou e abaixo do ponto de aplicação da carga expandiu para os lados. Este tipo de ruptura é conhecida como ruptura por esmagamento local da biela.



Figura 49 – Ruptura CP_{norma2}
Fonte: Aatoria Própria (2015).

5.1.5 Ensaio do CP_{empresa3}

As fissuras que apareceram no CP_{empresa3}, console moldado de acordo com o método da empresa, demonstram que houve uma ruptura por flexão, não por deformação excessiva do tirante, como descreve El Debs (2000), mas provavelmente pela falta da barra soldada na ponta dos tirantes, ou até mesmo pela falta da armadura de costura. Fato que foi observado pois o concreto tentou “escorregar” pelas barras do tirante (Figura 50), com isso esses fletiram levemente, levando ao esmagamento do concreto na parte inferior.



Figura 50 – Ruptura CP_{empresa3}
Fonte: Autoria Própria (2015).

5.1.6 Ensaio do CP_{norma3}

O corpo de prova CP_{norma3}, moldado de acordo com as prescrições da norma, rompeu com uma fissura próxima a face (Figura 51), isso ocorre quando a armadura localiza-se longe da face do console. A causa foi o posicionamento incorreto da armadura que origina uma fissura que se desenvolve paralela a essa face. Outro fator que também influenciou, foi à carga aplicada fora do centro do console, ocasionado pelo tamanho da célula de carga utilizada.



Figura 51 – Ruptura CP_{norma3}
Fonte: Autoria Própria (2015).

5.1.7 Análise Geral das Rupturas

Analisando os modos de ruptura de forma geral, pode-se notar que os consoles seguindo método da empresa apresentaram fissuras que caracterizam a

falta de armadura de costura, como é o caso de ruptura por fendilhamento da biela, ocorrido devido à falta da armadura de costura. E também, ruptura por flexão, onde há um leve deslocamento da armadura do tirante, possivelmente por falta da barra soldada.

Já os consoles que seguem os padrões da norma demonstraram comportamentos mais seguros quanto ao tipo de ruptura, onde dois deles apresentaram ruptura devido a cargas elevadas e esmagamento do concreto e o outro devido ao mau posicionamento do ponto de aplicação de carga. Porém, nenhum ensaio apresentou ruptura devido falta de armadura. Vale ressaltar que o processo de execução do console está sujeito a aparição de falhas no concreto, ocasionando possíveis problemas na resistência das peças.

5.2 ANÁLISE RESISTÊNCIA CORPOS DE PROVA

Na Tabela 04 observa-se que há duas colunas iguais, “NBR” e “NBR(2)”, isso se deve ao fato dos consoles executados segundo a norma terem suportado a carga máxima da célula de carga (125 KN ou 12,5 Ton), com isso durante o ensaio foi aplicado uma carga até próximo da máxima de 125 KN (como mostra a coluna NBR), em seguida a carga no macaco foi aliviada, e a célula de carga foi substituída por 250 KN, iniciando novamente o ensaio até atingir a carga de ruptura dos consoles (coluna NBR(2)).

Tabela 04 – Cargas ensaio consoles

Corpo de Prova	Empresa (KN)	NBR (KN)	NBR(2) (KN)
CP1	92,5	126,8	153,7
CP2	87,3	125,4	143,3
CP3	92,3	129,5	92,5
MÉDIA	90,7	127,2	129,9

Fonte: Aatoria Própria, 2016.

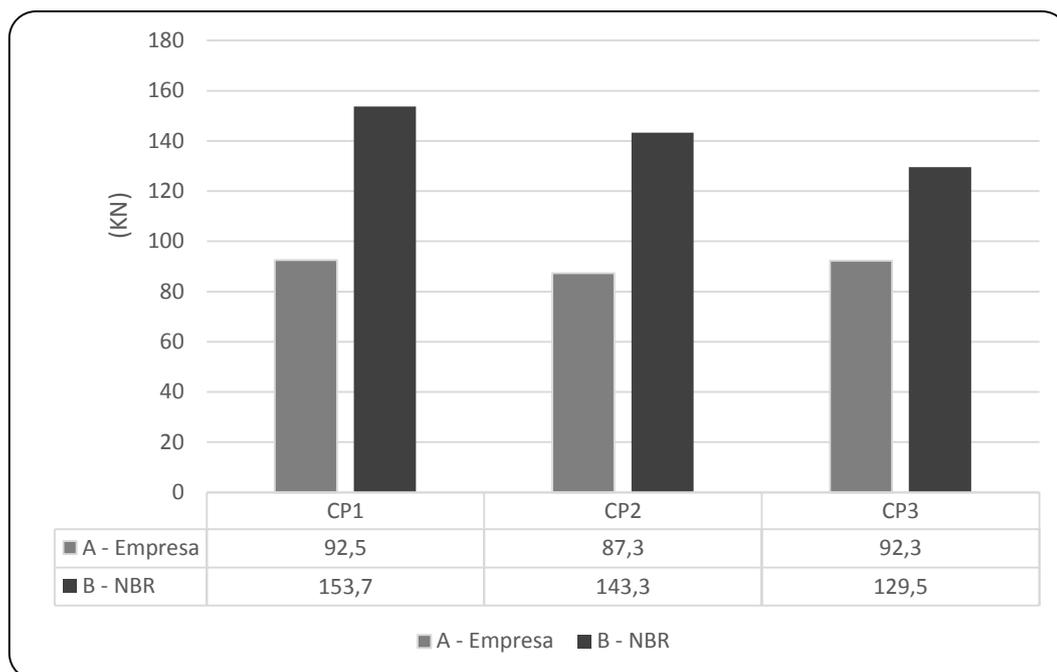


Gráfico 01 – Resultado do ensaio consoles (KN)
Fonte: Autoria Própria, 2016.

O Gráfico 01 mostra as cargas suportadas pelos corpos de prova ensaiados e nota-se que o método indicado pela NBR 9062:2006 em todos os ensaios atingiu resistência maior comparado ao método utilizado pela empresa.

Analisando a Tabela 03, há um resultado com grande variação se comparado aos demais. Este resultado é proveniente da segunda etapa do ensaio realizado no CP3-B, onde a aplicação da carga estava fora do centro do console. Fato esse confirmado na realização da primeira etapa, pois o mesmo console já havia resistido a uma carga de 129,5 KN sem apresentar nenhuma fissura, ou seja, se a segunda etapa do ensaio não tivesse falhas, no mínimo, o console resistiria mais que 129,5 KN. Então, para as análises esse resultado poderá ser substituído pelo obtido na primeira etapa como mostrado no Gráfico 01, obtendo a média geral como observamos na Tabela 05 a seguir.

Tabela 05 – Cargas médias finais ensaio consoles

	CP's empresa(KN)	CP's-B _{norma} (KN)
MÉDIAS	90,7	142,2

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Na análise dos resultados, nota-se a grande diferença na resistência de cada método, tendo em vista que para ambos foram utilizadas as mesmas dimensões,

materiais e cargas solicitantes, mudando apenas dimensionamento e a execução. A partir das análises de formas de ruptura, pode-se notar a importância e função de cada armadura, e estas diferenças é que foram significativas nos resultados finais quanto a resistência dos consoles.

Como se pode observar na Tabela 05 e o Gráfico 02, abaixo, os corpos de prova conforme método sugerido pela NBR 9062:2006, tiveram resistência média de 56,7% maior que o método da empresa, demonstrando-se desta forma mais seguros, sendo que o dimensionamento é efetuado com uma carga de 70 KN que é o limite de carga para a utilização deste console padrão pela empresa.

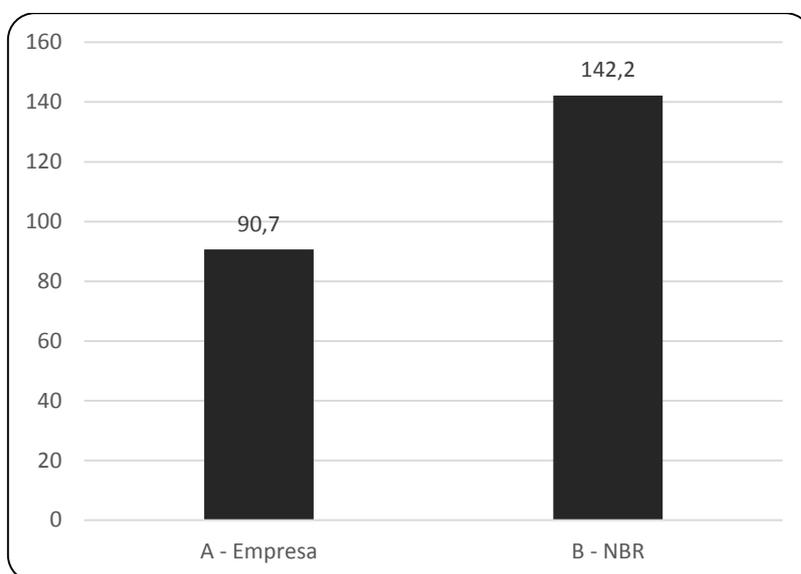


Gráfico 02 – Médias dos resultados no ensaio consoles (KN)
Fonte: Autoria Própria, 2016.

Foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos para a determinação da resistência característica (F_{ck}) dos concretos rodados para a execução dos consoles e dos pilares. A fim de obter o máximo de igualdade entre os concretos, todo o material utilizado foi secado e pesado, e para comprovar essa igualdade, foram moldados quatro corpos de prova para cada concreto produzido, que corresponde ao número dos corpos de prova, ou seja, o primeiro concreto produzido está associada aos CP's1, e assim por diante. A produção do quarto e último concreto que corresponde apenas ao concreto dos consoles moldados conforme método da empresa, que foram executados depois.

A Tabela 06 mostra a resistência dos corpos de prova do concreto, que foram ensaiados no mesmo dia dos consoles. Pode-se observar que todos apresentaram resultados de resistência à compressão bem próximos, com pouca variação, indicando um bom controle na fabricação do concreto e comprovando a não influência do concreto nos resultados das resistências dos consoles.

Tabela 06 – Resistência Característica do Concreto a Compressão (MPa)

	CP1	CP2	CP3	CP4
1	22,06	19,83	20,87	21,36
2	21,89	20,36	22,56	21,76
3	22,55	20,06	22,42	19,88
4	21,69	18,01	21,68	21,41
MÉDIA	22,05	19,57	21,88	21,10

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Desde o início deste trabalho, com as visitas, conversas na empresa e estudos com base na NBR 9062:2006, observou-se cada detalhe, como a forma e tempo de execução, praticidade, dificuldades, enfim, todos os pontos positivos e negativos de cada método. A Tabela 07 a seguir mostra de forma resumida esses pontos mais relevantes a serem analisados, como os dados obtidos através dos ensaios, os obtidos durante as visitas e até mesmo durante a execução dos corpos de prova.

Tabela 07 – Tabela de comparação geral

MÉTODO	RESISTÊNCIA MÉDIA (KN)	ARMADURA (KG)	DIFICULDADE DE EXECUÇÃO	TEMPO DE EXECUÇÃO	CUSTO
Empresa	90,7	1,32	Média	Alto	Médio
NBR 9062:2006	142,2	3,96	Alta	Baixo	Alto*
DIFERENÇA	56,7 %	300%			

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Nota:

* custo alto levando em conta a necessidade constante de modificações nas fôrmas metálicas.

Com resistência média obtida durante os ensaios de cada método foi calculado uma diferença percentual que nos diz que a resistência média suportada pelo método da NBR 9062:2006 foi, 56,7% maior que a suportado pelo método utilizado na empresa.

Quantificando em peso, a armadura utilizada nos dois métodos, somando além da armadura do console a armadura de ancoragem presente no método indicado pela NBR 9062:2006, há 1,32 Kg de aço para armadura no método A (empresa), e 3,96 Kg de aço para armadura utilizada no método B (NBR). Com o comparativo entre esses valores temos no método da NBR 9062:2006 uma quantidade de aço três vezes maior que no método da empresa, em compensação, o método da empresa utiliza a resina epóxi, que tem custo elevado

A dificuldade de execução encontrada no método utilizado pela empresa deve ser levada em consideração, tendo visto que o profissional deve ter atenção ao trabalhar com a cola estrutural, acertar a mistura, cuidar para não haver falhas, ter atenção para a profundidade dos furos, e o posicionamento correto da fôrma do console. Já no método indicado pela norma, a dificuldade é ainda maior, pois com a concretagem feita em uma única etapa, por se tratar de um elemento de pequenas dimensões e devido à alta taxa de armadura a chance de ocorrência de falhas no concreto é alta.

Na execução, o método utilizado pela empresa acaba requisitando um maior tempo, devido à necessidade de esperar a cura do concreto do pilar para poder fazer a abertura dos furos e, após a aplicação de cola estrutural Sikadur32, também se deve aguardar o tempo de secagem e, pra finalizar, ainda deve ser respeitado o tempo de cura do concreto do console.

Analisando o custo, observa-se um dos principais motivos para o desenvolvimento de métodos alternativos, uma vez que o método recomendado pela NBR 9062:2006 possui um custo elevado devido a adequação das fôrmas para cada projeto, tornando seu reaproveitamento muito baixo. Ou seja, o custo para a produção dos consoles é maior conforme método da norma.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise teórica e experimental de consoles monolíticos curtos de pilares pré-moldados, comparando o método usual da empresa de Pato Branco-PR com o método definido pela NBR 9062:2006. Assim, produzir e ensaiar os consoles curtos permitiu uma visão ampla do comportamento dos mesmos quando submetidos à ação vertical.

As pesquisas acerca dos consoles curtos vêm sendo mais frequentes nos últimos anos, mesmo assim, há muitas abordagens e estudos sistemáticos que se fazem necessários para conhecer melhor o comportamento estrutural desse elemento em seus diferentes métodos de dimensionamento e execução. Com esses estudos é possível definir adequadamente se os métodos alternativos utilizados pelas empresas atendem as cargas solicitantes e os parâmetros de segurança.

Antes da realização dos ensaios foi necessário um estudo aprofundado de ambos os métodos, para que pudessem ser avaliadas as diferenças entre eles e traçar uma melhor forma de comprovar a real eficiência de cada um, observando suas vantagens e desvantagens.

Para que o ensaio pudesse ser realizado no pórtico estrutural, foram produzidos protótipos com dimensões do pilar com console igual ao da empresa, estudo de caso, em escala real. Após ensaiar os protótipos, foram realizadas algumas adaptações e definidas as medidas das peças para serem produzidas de acordo com o método da empresa e de acordo com a norma. Foi observado que a busca por métodos alternativos se deve ao fato da dificuldade na execução, conforme sugere a norma. Tais dificuldades puderam ser comprovadas durante este trabalho, visto que o tempo para a fabricação é menor, já que a concretagem é realizada de uma só vez, diferente do método da empresa onde é feita em duas etapas.

Porém, na concretagem das peças foi identificado que há alta taxa de armadura, que é três vezes maior no método da norma, o que pode vir a ocasionar falhas, que considerando o método da empresa são menos comuns por ter uma menor taxa de armadura e devido à concretagem do console ser realizada após a concretagem do pilar. Este fato pode ser verificado na empresa, uma vez que se produzem mais peças, mesmo que com mais tempo de produção, mas com um menor desperdício de peças com falhas.

A partir dos estudos realizados pelos dois métodos e, sabendo-se que foram utilizados os mesmos parâmetros de esforços solicitantes, mesmas dimensões da peça ensaiada para o dimensionamento das armaduras e também a mesma metodologia de ensaio, pode-se comparar efetivamente, identificando que o método sugerido pela norma suportou em média 56,7% mais carga, como foi observado nos resultados apresentados.

Comparando os resultados dos ensaios, foram verificadas algumas diferenças significativas nas rupturas. Os consoles, conforme método da empresa, tiveram ruptura devido ao fendilhamento da biela, que ocorre quando há falta ou insuficiência de armadura. Os consoles com armadura de acordo com a norma, tiveram ruptura devido ao esmagamento do concreto, que ocorre devido às cargas elevadas, ou seja, acima da usada no dimensionamento. Observando os resultados foi possível notar que o método da empresa tem uma margem de segurança, sendo que a empresa faz o dimensionamento considerando sete toneladas de esforço solicitante e, nos três corpos de prova, esta carga foi atendida e superada.

Após o término dos ensaios, também foi notado que as barras do tirante ancoradas através da cola estrutural, não tiveram nenhum sinal de deslocamento, o que mostra o comportamento da resina epóxi Sikadur32 e que a ancoragem das barras do tirante não influenciou na ruptura dos consoles.

Por fim, é importante ressaltar que, apesar da norma recomendar dimensionamento e procedimento na execução dos consoles, o emprego de métodos alternativos de execução é utilizado por diversas empresas de pré-moldados. No entanto, estes métodos são possíveis de se utilizar, desde que realizado um estudo prévio para verificação e comprovação das cargas atuantes.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros nesta área, ainda restaram vários pontos questionáveis que não eram o objetivo deste trabalho, como o auxílio à empresa no melhoramento na segurança do método por ela utilizado corrigindo a falta de armadura, ensaiar consoles incluindo as armaduras de costura e mais estribos verticais, por exemplo. Verificar se com a correção necessária das armaduras o Sikadur32 continuaria resistindo os esforços de ancoragem a ele solicitado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto- Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062** – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

BERTOLI, Rafael de Camargo. **Concreto pré-moldado – Execução de Vigas e Pilares**. 2007. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco, Itatiba.

BRUNA, Paulo Júlio Valentino. **Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento**. EDUSP/Perspectiva, Coleção Debates, número 135, São Paulo 1976.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003**. 3º Ed. São Carlos, 5º reimpressão: Editora EdUFSCar, 2013.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; DA SILVA, Roberto. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

COSTA, Jônatas Barreto de Andrade. **Estudo experimental de consolos de concreto com fibras moldados em etapas distintas**. 2009. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

CURTY, Larissa Azevedo. **Estudo experimental dos consolos curtos de concreto armado reforçado com compósitos de fibra de carbono**. 2009. 193f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

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

FACHIN, Odília. **Fundamentos da metodologia**. 3º ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

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

GODOY, Arilda Schmidt. **Introdução a Pesquisa Qualitativa e suas Possibilidades**. São Paulo, 1995.

HBM. Disponível em: < <http://www.hbm.com/pt/>>. Acesso em novembro de 2015.

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.

LIBANIO, M. Pinheiro. **Fundamentos Do Concreto E Projeto De Edifícios**. São Carlos, 2007.

MAGNANI, Roberto: 1953 – **Cálculo e Desenho de Concreto Armado** / Roberto Magnani. – Araraquara, SP, 1999.

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

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.

NAEGELI, Cristina Haguener. **Estudo experimental de consolos de concreto armado**. 1988. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1988.

NÓBREGA, P. G. B. **Análise dinâmica de estruturas de concreto – estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas**. 2004. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos. 2004.

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.

VASCONCELOS, Augusto Carlos. **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. Vol. 3. Studio Nobel. São Paulo, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Dimensionamento de console segundo ABNT NBR 9062:2006.

Cálculo de console paralelepípedo com dimensões pré-definidas pela empresa, submetido a uma carga F_d de 7,0 Tf, dados:

- Pilar 20,0 x 20,0 cm;
- Classe I;
- C30;
- $c = 2,0$ cm;
- $a = 9,5$ cm;
- $b = 12,0$ cm;
- $h = 15,0$ cm;
- Junta de assentamento com almofada de elastômero (Neoprene);

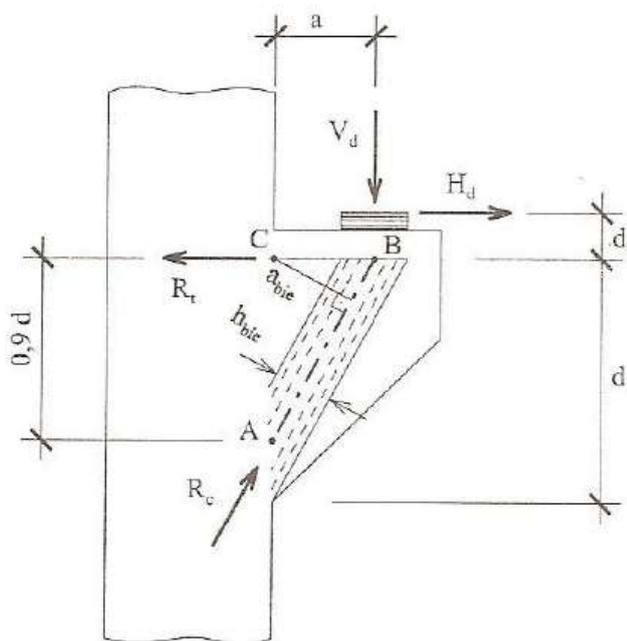


Figura 1 - Modelo de análise.
Fonte: EL DEBS, 2000.

Inicialmente estimando-se a armadura do tirante com diâmetro de 12,5 mm e estribos de 5,0 mm, tem-se:

$$d_h = 20 + \frac{12,5}{2} + 5 = 31,25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_h = 150 - 31,25 = 118,75 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{d} = \frac{75}{118,75} = 0,63 - \text{Console Curto.}$$

Como o console será assentado sobre almofada de elastômero (Neoprene), tem-se:

$$H_d = 0,16F_d = 0,16 \cdot 7 = 1,12 \text{ Tf}$$

Utilizando as equações para tensões de referência, tem-se:

$$\chi = \frac{0,18\beta}{\sqrt{0,9^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2}} = \frac{0,18}{\sqrt{0,9^2 + 0,63^2}} = 0,164$$

$$\tau_{wu} = \chi \cdot f_{ck} = 0,164 \cdot 30 = 4,92 \text{ MPa}$$

$$\tau_{wd} = \frac{F_d}{b \cdot d} \leq \tau_{wu}$$

$$\tau_{wd} = \frac{7 \cdot 10^4}{150 \cdot 118,75} = 3,93 \text{ MPa}$$

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

Cálculo da armadura do tirante:

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

$$A_{s,tir} = \frac{7 \cdot 10^4 \cdot 95 + 1,12 \cdot 10^4 (0,9 \cdot 118,75 + 31,25)}{0,9 \cdot 118,75 \cdot \frac{500}{1,15}}$$

$$A_{s,tir} = \frac{8197000}{46467,4} = 176,4 \text{ mm}^2 = \mathbf{1,76 \text{ cm}^2}$$

Escolhendo uma configuração de armadura tem-se 2 Φ 12,5 mm, que somam uma área de 2,45 cm² para armadura do tirante.

Armadura de costura

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

$$A_{sv} = (0,1 + 0,63) \frac{7 \cdot 10^4}{\frac{500}{1,15}} = 117,74 \text{ mm}^2 = 1,18 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,cost} = 0,4 A_{sv} = 0,4 \cdot 1,18 = \mathbf{0,472 \text{ cm}^2}$$

Escolhendo uma configuração que satisfaça esta área de aço, tem-se 4 Φ 5,0 mm a cada 2 cm de espaçamento.

Armadura transversal

$$0,2A_{sv} \leq A_{s,mín} = \rho_{s,mín} \cdot b$$

$$0,2 \cdot 1,18 \leq (0,1159) \cdot b$$

*Taxa de armadura mínima para vigas, extraído da 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

Figura 2 - Valores de $\rho_{s,min}$.
Fonte: Pinheiro; Libânio M., 2007.

$$0,236 \leq 1,39$$

$$A_{s,tr} = 1,39 \text{ cm}^2$$

Adotando uma configuração adequada para os valor acima calculado, tem-se 3 Φ 6,3 mm a cada 5 cm, que somam uma área de 1,89 cm².

Ancoragem

A comprimento de ancoragem da armadura do tirante é dimensionado conforme a NBR 6118:2014.

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

Porem para encontrar o comprimento de ancoragem são necessários determinar alguns parâmetros antes seguindo os passos da NBR 6118 (2014), tem-se:

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0,3 \cdot 30^{2/3} = 2,896$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ct,m} = 0,7 \cdot 2,896 = 2,027$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{2,027}{1,4} = 1,448$$

$$fbd = n_1 n_2 n_3 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,448 = 3,258$$

E finalmente, tem-se o comprimento de ancoragem:

$$lb = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{fyd}{fbd} = \frac{1,25}{4} \cdot \frac{434}{3,258} = 41,63 \text{ cm}$$

Visando a facilidade de execução o comprimento de ancoragem adotado é de **42 cm**.