



**ESTUDO COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE CARGA DOS  
CONSOLOS MOLDADOS EM UMA ÚNICA ETAPA DE  
CONCRETAGEM COM CONSOLOS MOLDADOS EM ETAPAS  
DISTINTAS DO PILAR**

CURITIBA  
2017



FABIANO BERTONCELLI

LUIS ROBERTO MORITZ

THIAGO DE ALBUQUERQUE SCORSIN

**ESTUDO COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE CARGA DOS  
CONSOLOS MOLDADOS EM UMA ÚNICA ETAPA DE  
CONCRETAGEM COM CONSOLOS MOLDADOS EM ETAPAS  
DISTINTAS DO PILAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Tecnologia da Pré-Fabricação, Pós-Graduação lato sensu, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Tecnologia da Pré-Fabricação.

**Orientador:** Prof. M.Sc. Patrícia Ribeiro da Silva Brandão.

**Co-orientador:** Prof. M.Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira

CURITIBA  
2017

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### **ESTUDO COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE CARGA DOS CONSOLOS MOLDADOS EM UMA ÚNICA ETAPA DE CONCRETAGEM COM CONSOLOS MOLDADOS EM ETAPAS DISTINTAS DO PILAR**

Por

FABIANO BERTONCELLI

LUIS ROBERTO MORITZ

THIAGO DE ALBUQUERQUE SCORSIN

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM TECNOLOGIA DA PRÉ-  
FABRICAÇÃO, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA  
PELOS PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

---

Prof. M.Sc. Patrícia Ribeiro da Silva Brandão

---

Prof. M.Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira

---

Prof. M.Sc. Luiz Henrique Felipe Olavo

## RESUMO

Nos últimos anos teve-se um grande avanço no uso de estruturas pré-fabricadas de concreto, sendo atualmente uma realidade no Brasil. Podem-se citar algumas vantagens no processo construtivo, tais como: rapidez na execução da obra, versatilidade geométrica das estruturas e otimização do espaço físico no canteiro. Neste trabalho apresenta-se o estudo comparativo da capacidade resistente de carga dos consolos moldados em uma única etapa de concretagem com consolos moldados em etapas distintas do pilar. Uma das grandes dificuldades da indústria de pré-fabricados está na execução de pilares com consolos, pois são elementos que normalmente exigem grande complexidade executiva. Esse trabalho tem como objetivo comparar as magnitudes de carga máxima vertical aplicada em dois modelos distintos de execução de concretagem, sendo um modelo com execução de concretagem monolítica do consolo junto ao pilar e outro modelo com concretagem do pilar distinta à concretagem do consolo. Para tanto, utilizaram-se seis modelos de consolos para a realização do programa experimental. Os modelos analisados serão do tipo “consolo curto” com relação  $0,5 \leq a/d \leq 1,0$ . Para o dimensionamento da ancoragem da armadura, utilizou-se como base a norma ABNT NBR 6118. Após os devidos cálculos de ancoragem da armadura, iniciou-se o processo de fabricação dos modelos de consolos, seguindo-se as seguintes etapas (execução da fôrma / corte e dobra da armadura / posicionamento da armadura na fôrma / concretagem dos consolos). Para o experimento, utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade para 100 tf, deflectômetro e marcador industrial. Notou-se após os ensaios que os consolos de concretagem monolítica apresentaram maiores resistências em relação aos consolos moldados em etapas distintas ao pilar, os quais entraram em ruína com cargas menores em relação aos consolos de única etapa de concretagem.

**Palavras-chave:** Consolos, Etapas de concretagem, Consolo curto.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES, TABELAS E QUADROS

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Trajetórias das linhas isostáticas de tensões principais em consolos de concreto com $a/h = 0,5$ . .... | 19 |
| Figura 2. Trajetórias simples idealizada para o comportamento estrutural do consolo de concreto. ....             | 20 |
| Figura 3. Arranjo da armadura no consolo de concreto. ....                                                        | 22 |
| Figura 4. Modelo de bielas e tirantes para análise de consolos curtos. ....                                       | 23 |
| Figura 5. Modelo Atrito-Cisalhamento. ....                                                                        | 24 |
| Figura 6. Ruptura típica de: (a) flexão; (b) fendilhamento da biela de concreto; .....                            | 27 |
| Figura 7. Prensa hidráulica. ....                                                                                 | 32 |
| Figura 8. Modelo de ensaio. ....                                                                                  | 33 |
| Quadro 1. Modelos de consolos. ....                                                                               | 35 |
| Figura 9. Dimensões reais do pilar e consolo. ....                                                                | 36 |
| Figura 10. Consolo e pilar executado em concretagem única. ....                                                   | 37 |
| Figura 11. Consolo executado separado. ....                                                                       | 37 |
| Figura 12. Consolos e pilar concretados. ....                                                                     | 38 |
| Figura 13. Forma de madeira. ....                                                                                 | 39 |
| Figura 14-a. Confecção da armadura para pilar e consolos distintos. ....                                          | 39 |
| Figura 14-b. Confecção da armadura para pilar e consolos distintos. ....                                          | 40 |
| Figura 15. Confecção de armadura para pilar e consolos monolíticos (ancoragem parcial). ....                      | 40 |
| Figura 16. Forma e armadura para pilar e consolos monolíticos (ancoragem parcial). .                              | 41 |
| Figura 17. Modelo monolítico concretado. ....                                                                     | 42 |
| Quadro 2. Cronograma da moldagem e ensaios. ....                                                                  | 42 |
| Quadro 3. Resumo das forças de ruptura. ....                                                                      | 50 |
| Figura 18-a. Panorama de fissuração do modelo M01-C1. ....                                                        | 52 |
| Figura 18-b. Panorama de fissuração do modelo M01-C2. ....                                                        | 52 |
| Figura 18-c. Panorama de fissuração do modelo M01-C3. ....                                                        | 53 |
| Tabela 1. Gráfico força x deslocamento do modelo M01. ....                                                        | 54 |
| Figura 19-a. Panorama de fissuração do modelo M02-C4. ....                                                        | 55 |
| Figura 19-b. Panorama de fissuração do modelo M02-C5. ....                                                        | 55 |
| Figura 19-c. Panorama de fissuração do modelo M02-C6. ....                                                        | 56 |
| Tabela 2. Gráfico força x deslocamento do modelo M02. ....                                                        | 57 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20-a. Panorama de fissuração do modelo M03-C7.....  | 58 |
| Figura 20-b. Panorama de fissuração do modelo M03-C8.....  | 58 |
| Figura 20-c. Panorama de fissuração do modelo M03-C9.....  | 59 |
| Tabela 3. Gráfico força x deslocamento do modelo M03.....  | 60 |
| Figura 21-a. Panorama de fissuração do modelo M04-C10..... | 61 |
| Figura 21-b. Panorama de fissuração do modelo M04-C11..... | 61 |
| Figura 21-c. Panorama de fissuração do modelo M04-C12..... | 62 |
| Tabela 4. Gráfico força x deslocamento do modelo M04.....  | 63 |
| Fonte: o autor, 2016.....                                  | 63 |
| Figura 22-a. Panorama de fissuração do modelo M05-C13..... | 64 |
| Figura 22-b. Panorama de fissuração do modelo M05-C14..... | 64 |
| Figura 22-c. Panorama de fissuração do modelo M05-C15..... | 65 |
| Figura 23-a. Panorama de fissuração do modelo M06-C16..... | 66 |
| Figura 23-b. Panorama de fissuração do modelo M06-C17..... | 67 |
| Figura 23-c. Panorama de fissuração do modelo M06-C18..... | 67 |
| Tabela 6. Gráfico força x deslocamento do modelo M06.....  | 68 |
| Tabela 7. Resumo de cargas de ruptura.....                 | 68 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|             |                                                                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABNT        | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                                         |
| ACI         | American Concrete Institute                                                                      |
| ed.         | Edição                                                                                           |
| Ed.         | Editor                                                                                           |
| f.          | Folha                                                                                            |
| IBGE        | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                                                  |
| ISBN        | <i>International Standard Book Number</i>                                                        |
| NBR         | Norma Brasileira Regulamentar                                                                    |
| p.          | Página                                                                                           |
| PCI         | Precast / Prestressed Concrete Institute                                                         |
| Lb          | Comprimento de ancoragem básico                                                                  |
| $\alpha$    | Coeficiente para cálculo de comprimento de ancoragem                                             |
| As          | Área da seção transversal da armadura longitudinal                                               |
| Ft          | Força de tração                                                                                  |
| Fd ou Vd    | Força cortante de cálculo                                                                        |
| Hd          | Força horizontal de cálculo                                                                      |
| $\tau_{wd}$ | Tensão de cisalhamento de cálculo, por força cortante                                            |
| fct         | Resistência do concreto à tração direta                                                          |
| fct,m       | Resistência média à tração do concreto                                                           |
| fctk,inf    | Resistência característica inferior do concreto à tração                                         |
| fctd        | Resistência de cálculo do concreto à tração                                                      |
| fbd         | Resistência de aderência de cálculo entre armadura e o concreto na ancoragem de armadura passiva |
| fcd         | Resistência de cálculo a compressão do concreto                                                  |
| fck         | Resistência característica a compressão do concreto                                              |
| fcj         | Resistência a compressão do concreto aos $j$ dias                                                |
| fy          | Resistência ao escoamento do aço de armadura passiva                                             |
| fyd         | Tensão de escoamento de cálculo                                                                  |
| $\gamma_c$  | Coeficiente de ponderação da resistência do concreto                                             |

|            |                                                                                        |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $\gamma_f$ | Coeficiente de ponderação das ações                                                    |
| a          | Distância do centro de aplicação da carga até a face do pilar                          |
| b          | Largura do consolo                                                                     |
| d          | Altura útil do consolo                                                                 |
| d'         | Distância do centro de gravidade da armadura principal até a face superior do consolo. |
| h          | Altura total do consolo                                                                |

## SUMÁRIO

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FOLHA DE APROVAÇÃO.....</b>                                   | <b>2</b>  |
| <b>RESUMO.....</b>                                               | <b>3</b>  |
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES, TABELAS E QUADROS.....</b>              | <b>4</b>  |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>                      | <b>6</b>  |
| <b>SUMÁRIO .....</b>                                             | <b>8</b>  |
| <b>1      INTRODUÇÃO.....</b>                                    | <b>11</b> |
| 1.1      PROBLEMA DE PESQUISA .....                              | 11        |
| 1.2      OBJETIVOS .....                                         | 11        |
| 1.2.1 <b>Objetivo Geral.....</b>                                 | <b>12</b> |
| 1.2.2 <b>Objetivos Específicos .....</b>                         | <b>12</b> |
| 1.3      HIPÓTESE.....                                           | 12        |
| 1.4      JUSTIFICATIVAS.....                                     | 12        |
| 1.4.1 <b>Tecnológicas.....</b>                                   | <b>12</b> |
| 1.4.2 <b>Econômicas .....</b>                                    | <b>13</b> |
| 1.4.3 <b>Sociais.....</b>                                        | <b>13</b> |
| 1.4.4 <b>Ecológicas .....</b>                                    | <b>14</b> |
| 1.5      PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                       | 14        |
| 1.6      APRESENTAÇÃO DO TRABALHO .....                          | 15        |
| <b>2      REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                        | <b>16</b> |
| 2.1      LIGAÇÕES .....                                          | 16        |
| 2.2      MODELOS DE CÁLCULO DE CONSOLOS .....                    | 18        |
| 2.2.1 <b>Modelo de Bielas e Tirantes .....</b>                   | <b>23</b> |
| 2.2.2 <b>Modelo de Atrito-Cisalhamento .....</b>                 | <b>24</b> |
| 2.3      FORMAS DE RUPTURA EM CONSOLOS.....                      | 25        |
| 2.3.1 <b>Ruptura Por Flexão .....</b>                            | <b>26</b> |
| 2.3.2 <b>Ruptura Por Fendilhamento da Biela Comprimida .....</b> | <b>26</b> |
| 2.3.3 <b>Ruptura Por Cisalhamento .....</b>                      | <b>27</b> |
| 2.3.4 <b>Ruptura Por Falta de Ancoragem .....</b>                | <b>28</b> |
| 2.3.5 <b>Ruptura Devido à Ação Horizontal .....</b>              | <b>28</b> |
| 2.3.6 <b>Ruptura Por Esmagamento Local .....</b>                 | <b>28</b> |
| 2.4      TRABALHOS CORRELATOS.....                               | 29        |
| <b>3      PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>                        | <b>32</b> |

|              |                                                                                     |           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1          | METODOLOGIA DO ENSAIO .....                                                         | 32        |
| 3.2          | MATERIAIS UTILIZADOS .....                                                          | 34        |
| 3.3          | DEFINIÇÕES DOS MODELOS .....                                                        | 34        |
| 3.4          | CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS.....                                                    | 36        |
| 3.5          | FABRICAÇÃO DOS MODELOS .....                                                        | 38        |
| 3.6          | ANCORAGEM DA ARMADURA.....                                                          | 43        |
| <b>3.6.1</b> | <b>Dimensionamento para Barras com Diâmetro de 12,5 mm .....</b>                    | <b>43</b> |
| 3.6.1.1      | Cálculo do $f_{ctd}$ .....                                                          | 43        |
| 3.6.1.2      | Cálculo do $f_{bd}$ .....                                                           | 43        |
| 3.6.1.3      | Comprimento de Ancoragem Básico .....                                               | 44        |
| 3.6.1.4      | Comprimento de Ancoragem Necessário .....                                           | 44        |
| <b>3.6.2</b> | <b>Dimensionamento para Barras com Diâmetro de 25 mm .....</b>                      | <b>45</b> |
| 3.6.2.1      | Cálculo do $f_{ctd}$ .....                                                          | 45        |
| 3.6.2.2      | Cálculo do $f_{bd}$ .....                                                           | 45        |
| 3.6.2.3      | Comprimento de Ancoragem Básico .....                                               | 46        |
| 3.6.2.4      | Comprimento de Ancoragem Necessário .....                                           | 46        |
| 3.7          | CÁLCULO DOS MODELOS .....                                                           | 47        |
| <b>3.7.1</b> | <b>Dimensionamento dos Consolos .....</b>                                           | <b>47</b> |
| 3.7.1.1      | Verificação da Biela Comprimida para $f_{ck} = 35$ MPa, conforme NBR 9062:2017..... | 48        |
| 3.7.1.2      | Ângulo da Biela de Compressão .....                                                 | 48        |
| 3.7.1.3      | Tensão Atuante na Escora .....                                                      | 48        |
| 3.7.1.4      | Carga Teórica de Ruptura.....                                                       | 49        |
| 3.7.1.5      | Verificação da Biela Comprimida para $f_{cj} = 45$ MPa .....                        | 49        |
| 3.7.1.6      | Tensão Atuante na Escora de Compressão .....                                        | 49        |
| 3.7.1.7      | Carga de Ruptura na Prensa.....                                                     | 49        |
| 3.7.1.8      | Verificação da Força Máxima de Ruptura do Aço a Tração.....                         | 50        |
| 3.7.1.9      | Força Total de Aplicação na Prensa para Ruptura .....                               | 50        |
| 3.7.1.10     | Resumo das Forças de Ruptura .....                                                  | 50        |
| <b>4</b>     | <b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>                                   | <b>51</b> |
| 4.1          | PANORAMA DE FISSURAÇÃO E FORMA DE RUPTURA .....                                     | 51        |
| <b>4.1.1</b> | <b>Modelo M01 (Consolos C1, C2 e C3). .....</b>                                     | <b>51</b> |
| <b>4.1.2</b> | <b>Modelo M02 (Consolos C4, C5 e C6). .....</b>                                     | <b>54</b> |
| <b>4.1.3</b> | <b>Modelo M03 (Consolos C7, C8 e C9). .....</b>                                     | <b>57</b> |

|       |                                                                      |           |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.4 | <b>Modelo M04 (Consoles C10, C11 e C12).....</b>                     | <b>60</b> |
| 4.1.5 | <b>Modelo M05 (Consoles C13, C14 e C15).....</b>                     | <b>63</b> |
| 4.1.6 | <b>Modelo M06 (Consoles C16, C17 e C18).....</b>                     | <b>66</b> |
| 5     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b> | <b>69</b> |
| 5.1   | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                            | 69        |
| 5.2   | RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                           | 71        |
| 6     | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                               | <b>72</b> |
| 7     | <b>ANEXOS.....</b>                                                   | <b>74</b> |
| 7.1   | ANEXO A – MODELO M01 .....                                           | 74        |
| 7.2   | ANEXO B – ARMADURA MODELO M01.....                                   | 75        |
| 7.3   | ANEXO C – MODELO M02 .....                                           | 76        |
| 7.4   | ANEXO D – ARMADURA MODELO M02 .....                                  | 77        |
| 7.5   | ANEXO E – MODELO M03 .....                                           | 78        |
| 7.6   | ANEXO F – ARMADURA MODELO M03 .....                                  | 79        |
| 7.7   | ANEXO G – MODELO M04 .....                                           | 80        |
| 7.8   | ANEXO H – ARMADURA MODELO M04 .....                                  | 81        |
| 7.9   | ANEXO I – MODELO M05 .....                                           | 82        |
| 7.10  | ANEXO J – ARMADURA MODELO M05.....                                   | 83        |
| 7.11  | ANEXO K – MODELO M06 .....                                           | 84        |
| 7.12  | ANEXO L – ARMADURA MODELO M06.....                                   | 85        |

## 1 INTRODUÇÃO

As estruturas pré-fabricadas de concreto tiveram um grande avanço no mercado nos últimos anos. A industrialização da construção em edifícios de múltiplos pavimentos já é uma realidade no Brasil, e ainda tem muito espaço a se desenvolver (BRITO& GANTOIS, 2014).

Do ponto de vista das estruturas das edificações, a industrialização pode ser alcançada com o emprego de elementos pré-fabricados de concreto. Isso é influenciado devido à capacidade da pré-fabricação em atender, em tempo hábil e com alto padrão de qualidade, às necessidades do mercado e seus clientes, o qual se tem apresentado exigente em relação a prazos e custos, e também no que diz respeito ao desempenho e à durabilidade (OLIVEIRA, 2012).

Uma das grandes dificuldades da indústria de pré-fabricados está na execução dos pilares, nos quais se têm as ligações através de consolos, elementos com uma grande complexidade executiva (MENEZES, 2009).

Este trabalho busca comparar os valores das resistências obtidas nos ensaios de carga aplicada em dois tipos de concretagem de consolos.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Existe diferença na carga máxima vertical aplicada em consolos executados em uma única etapa (pilar + consolo) com um consolo executado em uma etapa distinta à concretagem do pilar?

### 1.2 OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Comparar os valores da carga máxima vertical aplicada em dois modelos distintos de execução de concretagem.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos do trabalho são:

Avaliar a adaptação em projeto para o uso dos consolos analisados.

Verificar o comportamento da ancoragem da armadura principal dos consolos.

## **1.3 HIPÓTESE**

Consolos concretados de uma única vez apresentam maior capacidade de carga que consolos concretados posteriormente.

## **1.4 JUSTIFICATIVAS**

Neste trabalho serão apresentadas justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas para a elaboração da pesquisa em referência.

### **1.4.1 Tecnológicas**

A produção tradicional de consolos concretados em uma mesma etapa de concretagem, junto com o pilar, acarreta em uma dificuldade executiva, pois podemos ter consolos em várias faces do pilar, prejudicando a produção em série,

além da grande quantidade de interferências de armaduras (LUIZETTO & GRANDO, 2013).

A solução de consolo concretado em etapas distintas do pilar visa padronizar a execução criando-se uma produção em série. A utilização de consolo de segunda concretagem é comum na pré-fabricação, porém, deve-se ter um projeto específico de detalhamento desse consolo.

#### **1.4.2 Econômicas**

A fabricação de consolos junto com os pilares na mesma etapa de concretagem demanda uma grande utilização da mão de obra, de tempo e de manuseio de muitos materiais.

Para se obter uma melhor racionalização no uso dos recursos, a moldagem de consolos separados dos pilares favorece uma utilização de um sistema produtivo em série, facilitando a confecção das formas e montagem das armaduras dos pilares. A fabricação de consolos e pilares em duas etapas de concretagem aparece como uma alternativa viável, favorecendo uma economia no processo.

#### **1.4.3 Sociais**

Com a produção em série haverá um aperfeiçoamento da mão de obra, com a criação e remanejamento de postos de trabalho. A produção em série abrirá novas vagas na indústria com criação de novas células de trabalho.

#### **1.4.4 Ecológicas**

A principal justificativa ambiental está na redução do consumo de madeira para a execução das formas e travamento dos consolos.

Tem-se uma diminuição no consumo de madeira, pois com a padronização na execução dos consolos, os mesmos serão fabricados em formas metálicas, material este com maior vida útil.

### **1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este estudo tem como base uma pesquisa bibliográfica e uma pesquisa de campo aplicada, visando alcançar os objetivos propostos.

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica para descrever as teorias que abordam a utilização de consolos. A teoria foi obtida mediante leitura de artigos científicos publicados sobre o assunto, bem como trabalhos acadêmicos de mestrado e doutorado. O acesso se deu através de sites especializados como o portal Capes e sites de universidades tendo como principal objetivo a procura de informações confiáveis e seguras sobre o assunto.

Já a pesquisa de campo tem como proposta a comparação do valor da carga máxima vertical que um consolo suporta sem entrar em ruína. Para efeito comparativo foram feitos dois tipos de modelos de consolos, um concretado em etapa única, sendo monolítico com ancoragem parcial e monolítico com ancoragem total, e outro modelo com pilar e consolo concretados separados e ligados em uma segunda etapa, através de grauteamento.

A pesquisa de campo será realizada em uma fábrica de Pré-Fabricado localizada na região metropolitana de Curitiba. Para garantir uma maior confiabilidade nos resultados foram utilizados os aparelhos do laboratório de concreto da empresa, com garantia de calibração de acordo com as normas vigentes.

## 1.6 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A seguir é apresentado um resumo acerca do conteúdo de cada capítulo:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre as ligações e sua importância em estruturas pré-fabricadas. Descreve os modelos de cálculo de consolos e as formas de ruptura possíveis nos mesmos.

O **Capítulo 3** trata sobre o programa experimental realizado neste trabalho, apresentando como foram definidos os modelos, bem como suas características, os métodos matemáticos empregados para o dimensionamento dos consolos e às ancoragens de armadura. Descreve os materiais utilizados e a respectiva fabricação dos modelos, apresentando as metodologias de ensaio utilizadas no presente estudo.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo com base no panorama de fissuração dos modelos ensaiados e suas formas de ruptura.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta a contextualização referente a ligações, fundamentos do comportamento dos consolos de concreto através dos modelos de cálculo. Também será abordado o desempenho estrutural através das formas de ruptura dos mesmos.

### 2.1 LIGAÇÕES

Segundo a NBR 9062 (ABNT, 2017) ligações são: “Dispositivos utilizados para compor um conjunto estrutural a partir de seus elementos, com a finalidade de transmitir os esforços solicitantes, em todas as fases de utilização, dentro das condições de projeto, mantendo as condições de durabilidade ao longo da vida útil da estrutura”.

Segundo EL DEBS (2000), as estruturas de concreto pré-moldado se caracterizam por apresentar facilidade de execução dos elementos pré-moldados. Por outro lado, a necessidade de realizar as ligações entre os elementos constitui-se entre os principais problemas a serem enfrentados no emprego da pré-moldagem. Em geral, as ligações são as partes mais importantes no projeto das estruturas de concreto pré-moldado. Elas são de fundamental importância tanto para produção (execução de parte dos elementos adjacentes às ligações, montagem da estrutura e execução das ligações propriamente ditas) como para o comportamento da estrutura montada.

As ligações mais simples normalmente acarretam estruturas mais solicitadas aos momentos fletores, em contrapartida, as ligações que tendem a reproduzir o comportamento das estruturas de concreto moldado no local, por meio de transmissão de momentos fletores entre os elementos, requerem mais trabalho, reduzindo, em parte, as vantagens da pré-moldagem. As dificuldades da execução deste último tipo de ligação são devidas às necessidades de fazer a ligação tanto do concreto quanto do aço, pelo fato de o concreto armado ser um

material composto, em ter que acomodar as tolerâncias que intervêm nas várias fases e, ainda, pelo fato de o concreto ser um material frágil (EL DEBS, 2000).

No projeto das ligações aplicam-se, em geral, os mesmos princípios do dimensionamento do concreto armado, como por exemplo, não considerar a resistência a tração do concreto nos estados limites último, verificar a ancoragem e emenda das barras da armadura etc.

Os consolos são os complementos dos pilares que tornam seu detalhamento mais difícil (MELO, 2004). Estes podem ser detalhados de diversas maneiras, para este estudo específico os modelos analisados têm formato retangular e simulam uma ligação do tipo isostática entre o consolo e a viga pré-fabricada.

O cálculo dos consolos é largamente discutido pela literatura técnica. A principal variação está no detalhamento, que pode ter inúmeros arranjos diferentes (MELO, 2004).

As ligações entre as peças em estruturas pré-fabricadas precisam levar em conta os mínimos detalhes a serem executados durante sua “montagem”. É a existência delas que diferencia o pré-fabricado das estruturas moldados in loco, pois o restante do conceito e o funcionamento estrutural das peças são os mesmos para os dois sistemas. As ligações entre pilares e vigas que determinam o funcionamento estrutural previsto na modelagem.

As ligações são diretamente proporcionais no que se refere à complexidade, ao custo e à eficiência estrutural. Quanto mais eficiente é a ligação, melhor partido estrutural é atingido. Entretanto, seu custo e possíveis cuidados na execução também são maiores. Por conseguinte, é muito importante a definição correta do tipo de ligação a ser usada para a determinação do custo do empreendimento (MELO, 2004).

## 2.2 MODELOS DE CÁLCULO DE CONSOLOS

Segundo Franz e Niedenhoff<sup>1</sup>(1963 apud LEONHARDT; MÖNNIG, 1978) e posteriormente por Mehmel e Freitag<sup>2</sup> (1967 apud LEONHARDT; MÖNNIG, 1978), foram estudados consolos de concreto especialmente com  $a/h = 0,5$  a  $0,6$ ; onde “a” representa a distância entre a face do pilar e o ponto de aplicação da força, e “h” a altura do consolo.

Conforme Franz, os consolos e vigas curtas, com alturas maiores que seus comprimentos, têm um comportamento estrutural diferenciado em relação aos esforços internos normalmente observados em vigas. Neste caso não vale a teoria clássica de flexão. A distribuição linear de tensões na seção transversal não é válida para este tipo de peça. As trajetórias das tensões para consolos com  $a/h = 0,5$ , com base nos estudos experimentais de foto-elasticidade realizados por Franz e Niedenhoff (1963 apud LEONHARDT; MÖNNIG, 1978), revelam que em consolos retangulares o canto inferior é livre de tensões, desta forma dispensável. Por esse motivo têm comportamento semelhante ao dos consolos com chanfros nas extremidades, conforme Figura 1.

Nos dois modelos de consolos apresentados, a resultante das tensões principais de compressão é oblíqua. As tensões principais de tração são perpendiculares às de compressão e de valor muito pequeno no corpo do consolo, podendo ser absorvidas por armaduras em forma de estribo ou por fibras acrescentadas ao concreto, devidamente dosadas. As tensões de tração no bordo superior são maiores que as determinadas pela teoria da distribuição linear de tensões, e são praticamente constantes desde a seção de engastamento até o ponto de aplicação da força (COSTA, 2009).

---

<sup>1</sup>FRANZ, G.; NIEDENHOFF, H. Die Bewehrung von Konsolen and gedrungenen Balken. **Beton- und Stahlbetonbau**, v. 58, n.5, p. 112-120, 1963.

<sup>2</sup>MEHMEL, A. e FREITAG, W. Tragfähigkeitsversuche an Stahlbetonkonsolen. **Der Bauingenieur**, v. 42, n.10, p. 362-369, 1967.

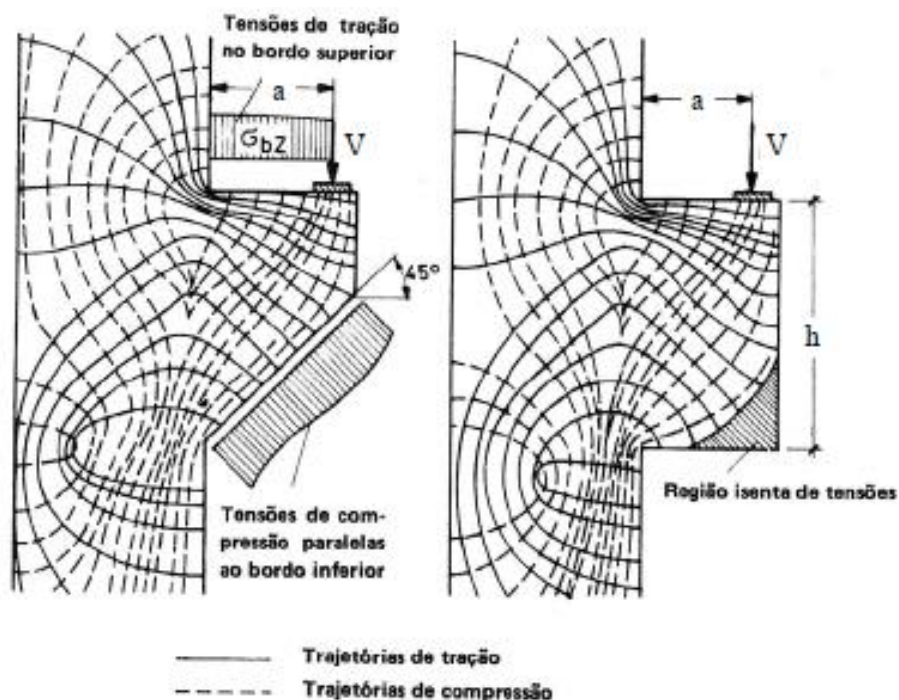


Figura 1. Trajetórias das linhas isostáticas de tensões principais em consolos de concreto com  $a/h = 0,5$ .

Fonte: adaptado de Leonhardt e Mönnig, 1978

Por isso Leonhardt e Mönnig (1978) indicam que deve haver uma armadura horizontal para resistir a essas tensões, distribuída até uma altura de  $d/4$  a partir do bordo superior sendo “ $d$ ” a altura útil do consolo. As tensões de tração no bordo superior, praticamente horizontais, e as tensões de compressão inclinadas sugerem que o consolo resiste à força solicitante como uma treliça simples, conforme apresentada na Figura 2. A direção do fluxo das tensões de tração no bordo superior é levemente inclinada em relação à face superior, entretanto, por motivo de simplificação, o tirante é idealizado como sendo horizontal, assim como a armadura utilizada para resistir a essas tensões. O fluxo das tensões de compressão tem uma direção que vai do ponto de aplicação da força até a base do consolo. Nesta mesma direção, portanto é idealizada uma biela de compressão.

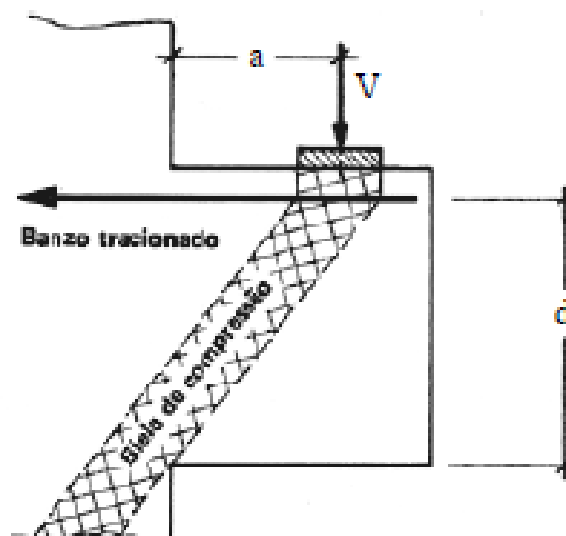


Figura 2. Trajetórias simples idealizada para o comportamento estrutural do consolo de concreto.

Fonte: adaptado de Leonhardt e Mönning, 1978.

A armadura do tirante principal deve ser dimensionada para resistir aos esforços verticais sobre o consolo e também aos esforços horizontais. Os esforços horizontais podem surgir pelo impedimento da variação de comprimento da peça estrutural que está apoiada sobre o consolo, devido à variação de temperatura ou à retração. Para minimizar os esforços horizontais são utilizados elastômeros nos pontos de apoio sobre o consolo, que permitem, dentro de certos limites, deslocamentos horizontais e pequenas rotações, além de proporcionar uma distribuição mais uniforme das pressões na superfície de contato (CAMPOS, 2010).

Entretanto, para consolos em que o comprimento é da ordem da metade da altura, ou menor, a forma de ruptura não evidencia o modelo de bielas e tirantes porque a diagonal comprimida se aproxima da vertical e o esforço cortante se torna predominante na interface entre o consolo e o pilar. Para este caso, o melhor modelo a ser utilizado é o modelo de atrito-cisalhamento, sendo “a” a distância entre a face do pilar e o ponto de aplicação da força, e “d” a altura útil do consolo, a norma brasileira ABNT NBR 9062:2017 faz a seguinte indicação quanto ao modelo de cálculo a ser utilizado:

- Para consolos com  $1,0 < a/d < 2,0$ , o dimensionamento deve ser feito como uma viga em balanço;

- Para consolos com  $0,5 \leq a/d \leq 1,0$  (consolos curtos) o dimensionamento se faz segundo o modelo matemático de uma treliça de duas barras, uma tracionada (tirante) e outra comprimida (biela);
- Para consolos com  $a/d < 0,5$  (consolos muito curtos) o dimensionamento se faz supondo a ruptura ao longo da interface entre o consolo e o pilar, podendo se considerar o efeito favorável de engrenamento dos agregados desde que a interface seja atravessada por barras de aço perpendiculares a essa interface.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), para o cálculo dos consolos e seu dimensionamento podem ser usados os seguintes modelos:

- a) Modelo biela-tirante (normalmente aplicado a consolos curtos);
- b) Modelo atrito-cisalhamento (normalmente aplicado a consolos muito curtos);
- c) Modelo plano linear ou não (não planos no caso da torção).

Tais dimensionamentos serão fundamentais na questão de padronização dos consolos quanto aos seus detalhes a serem fornecidos para a fabricação das peças.

Segundo El Debs (2000) os valores recomendados para a verificação do esmagamento do concreto e para o cálculo das armaduras do tirante indicados na Figura 3, podem ser determinadas pelas seguintes equações:

Verificação do esmagamento do concreto para consolo curto:

$$\tau_{wd} = \frac{Vd}{b * d} \leq \frac{0,18}{\sqrt{(0,9)^2 + (a/d)^2}} fcd$$

Verificação do esmagamento do concreto para consolo muito curto:

$$\tau_{wd} = \frac{Vd}{b * d} \leq 0,175 fcd < 6,0 \text{ MPa}$$

Armadura do tirante para consolo curto:

$$A_{s,tir} = \frac{1}{f_{yd}} * \left( \frac{Vd * a}{0,9 * d} + 1,2 * Hd \right)$$

Armadura do tirante para consolo muito curto:

$$A_{s,tir} = \frac{1}{f_{yd}} * \left( \frac{0,8 * Vd}{\mu} + Hd \right) (3)$$

3) O maior dos valores obtidos com a expressão de consolo curto e com a expressão de consolo muito curto.

Em que o valor de  $\mu$  vale:

$\mu = 1,4$  para concreto lançado monoliticamente;

$\mu = 1,0$  para concreto lançado sobre concreto endurecido intencionalmente rugoso (5 mm de profundidade a cada 30 mm);

$\mu = 0,6$  para concreto lançado sobre concreto endurecido com interface lisa.

E o valor recomendado para força de cálculo horizontal  $Hd$  é:

$$Hd \geq 0,2 * Vd$$

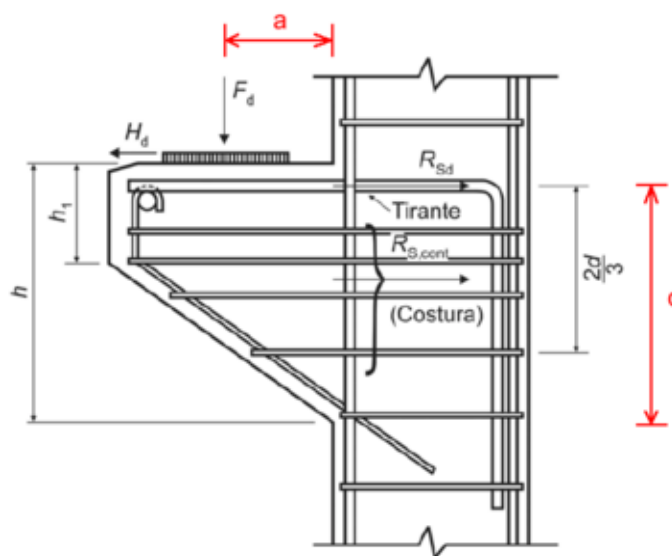


Figura 3. Arranjo da armadura no consolo de concreto.  
Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014

### 2.2.1 Modelo de Bielas e Tirantes

O modelo de bielas e tirantes aplicados a consolos foram evidenciados pelos estudos de Franz e Niedenhoff<sup>1</sup> (1963 apud LEONHARDT; MÖNNIG, 1978) sobre trajetórias de tensões. Esse modelo, também conhecido como modelo de treliça consiste em idealizar o fluxo de tensões da estrutura, substituindo os fluxos de tensões de tração por tirantes e o fluxo de compressão por bielas.

As bielas e os tirantes são ligados por nós e formam uma treliça idealizada. O cálculo das forças de tração e compressão na treliça idealizada é feito através do equilíbrio das forças internas e externas (COSTA, 2009).

Na posição dos tirantes são colocadas armaduras, dimensionadas para resistir à força de tração. A capacidade resistente da biela, normalmente constituída de concreto, é verificada quanto à força de compressão e depende da resistência do concreto e da área da sua seção transversal.

El Debs (2000, p.139) destaca que “a aplicação completa do modelo de biela e tirante incluindo a verificação da resistência dos nós, prevista na teoria de biela e tirante não é usual no cálculo dos consolos”. A treliça mais usual no cálculo de consolos é a apresentada por Leonhardt e Mönnig (1978, p. 55), conforme Figura 4.

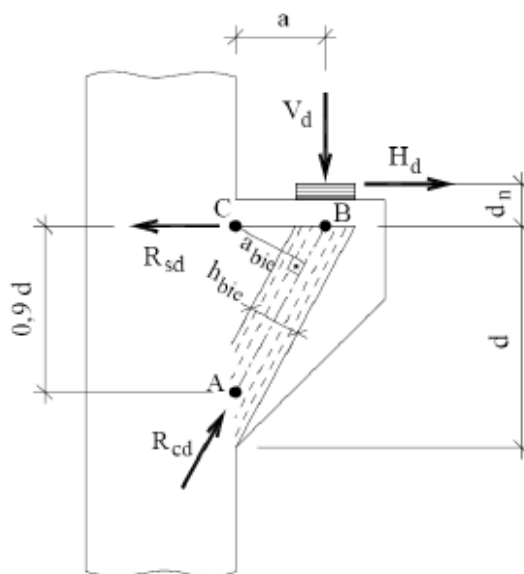


Figura 4. Modelo de bielas e tirantes para análise de consolos curtos.  
Fonte: Leonhardt e Mönnig adaptado por El Debs, 2000.

Entretanto, a literatura propõe várias outras treliças, com maior ou menor grau de sofisticação. Cabe ressaltar que também existem treliças especiais para consolos com carregamento indireto, nos quais devem ser colocadas armaduras de suspensão.

### 2.2.2 Modelo de Atrito-Cisalhamento

Segundo Campos (2010, p.27), o modelo de atrito-cisalhamento consiste na idealização da ruptura do consolo pelo escorregamento na interface consolo-pilar, devido às tensões de cisalhamento. A junção das duas partes (pilar e consolo) deve ser garantida através das armaduras que atravessam a fissura potencial, produzindo força normal entre as partes e um efeito de pino, conforme Figura 5. Ocorre também o mecanismo de engrenamento dos agregados que auxilia na resistência do consolo ao escorregamento.

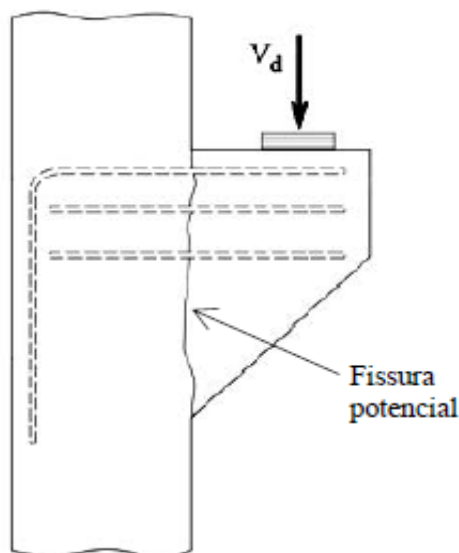


Figura 5. Modelo Atrito-Cisalhamento.  
Fonte: adaptado de Torres (1998)

Assim, a partir da teoria de atrito de Coulomb, determina-se a armadura necessária para garantir a transferência das tensões de cisalhamento, do consolo para o pilar. A posição das armaduras neste modelo não é muito clara.

Conforme comenta El Debs (2000, p.441), “um aspecto que merece ser ressaltado no modelo de atrito-cisalhamento é que não entra a posição da armadura, sugerindo-se que ela seja distribuída uniformemente ao longo da fissura potencial. Dessa forma, não seria considerado o momento fletor na seção da fissura potencial, devido à excentricidade da força  $V$ , que implicaria numa armadura mais concentrada na parte tracionada da seção”. Torres (1998, p.14) comenta, quanto ao detalhamento das armaduras: “Este modelo não fornece indicações com relação à posição da armadura [...] Portanto, o detalhamento deste tipo de consolo é feito seguindo o mesmo esquema de armação de consolos curtos”.

Em relação à quantidade de armadura, El Debs (2000, p.441) comenta: “Recomenda-se que a área da armadura, para consolo muito curto, não seja menor que aquela calculada com a expressão para consolo curto. Para os dois casos, deve-se limitar a tensão da armadura em 435 MPa”. Referindo-se ao modelo de atrito-cisalhamento, El Debs (2000, p.456) comenta: “Essa idealização, desenvolvida e comumente empregada nos Estados Unidos da América, é uma ferramenta de grande interesse para o projeto de ligações entre elementos pré-moldados apesar de receber críticas de ser conceitualmente pouco consistente”.

Entretanto, sua utilização está prevista nas recomendações das normas do American Concrete Institute (ACI) e do Precast / Prestressed Concrete Institute (PCI).

## 2.3 FORMAS DE RUPTURA EM CONSOLOS

O modo de ruptura do consolo depende essencialmente da quantidade de armadura utilizada, resistência à compressão do concreto e da razão  $a/d$ .

De acordo com os pesquisadores Hughes e Fattuhi (1989, apud, COSTA 2009), os consolos apresentam quatro modos de ruptura principais: ruptura por flexão, fendilhamento da biela de concreto, cisalhamento e corte

inclinado. Este último modo de ruptura não é muito comum, por isso não será destacado neste presente estudo.

El Debs (2000, p.139) complementa que além destes tipos básicos de ruptura, pode ocorrer ruptura por detalhamento ou posicionamento incorreto, como ruptura localizada junto à borda devido à deficiência da ancoragem da armadura do tirante, ou ruptura devido à força estar muito próxima à borda, ou análise incorreta, como ruptura devido à ocorrência não prevista de força horizontal.

### **2.3.1 Ruptura Por Flexão**

Este tipo de ruptura se caracteriza por uma fissura bem aberta ao longo da interface superior do consolo com o pilar, devido ao escoamento do aço do tirante principal. O escoamento das barras da armadura é acompanhado do esmagamento do concreto da biela na parte inferior do consolo. A ruptura por flexão é o modo mais desejável do ponto de vista da segurança porque demonstra grandes deformações e fissuras que são indicativos do colapso conseguinte. Desta forma, favorece reparos preventivos na estrutura. O aspecto da fissuração é apresentado na Figura 6-a (COSTA, 2009).

### **2.3.2 Ruptura Por Fendilhamento da Biela Comprimida**

Acontece quando há o fendilhamento da biela comprimida de concreto. Caracteriza-se por uma fissura a aproximadamente 45°, pelo menos parcialmente, ao longo de uma linha que vai da junção inferior do consolo com o pilar (sob compressão) ao ponto de aplicação do carregamento. O aspecto da fissuração é apresentado na Figura 6-b (COSTA, 2009).

Segundo Torres (1998, p.6), forma-se inicialmente uma fissura de flexão e em seguida surgem fissuras na biela comprimida. Próximo à carga de

ruína aparece uma fissura que se estende desde o bordo da placa de apoio até o canto inferior do consolo. Ocorre, geralmente, em consolos com pequena área de concreto para resistir aos esforços na biela comprimida ou em consolos sem armadura distribuída ao longo da altura.

### 2.3.3 Ruptura Por Cisalhamento

Este tipo de ruptura geralmente ocorre quando o ponto de aplicação do carregamento é muito próximo ao pilar, e o consolo sofre um escorregamento em relação ao pilar. A ruptura se caracteriza pelo aparecimento de múltiplas fissuras pequenas inclinadas ao longo da interface consolo-pilar. O aspecto da fissuração é apresentado na Figura 6-c.

Torres (1998, p.7) comenta que esta ruína ocorre, geralmente, em consolos muito curtos ou quando estes elementos são fortemente armados à flexão.

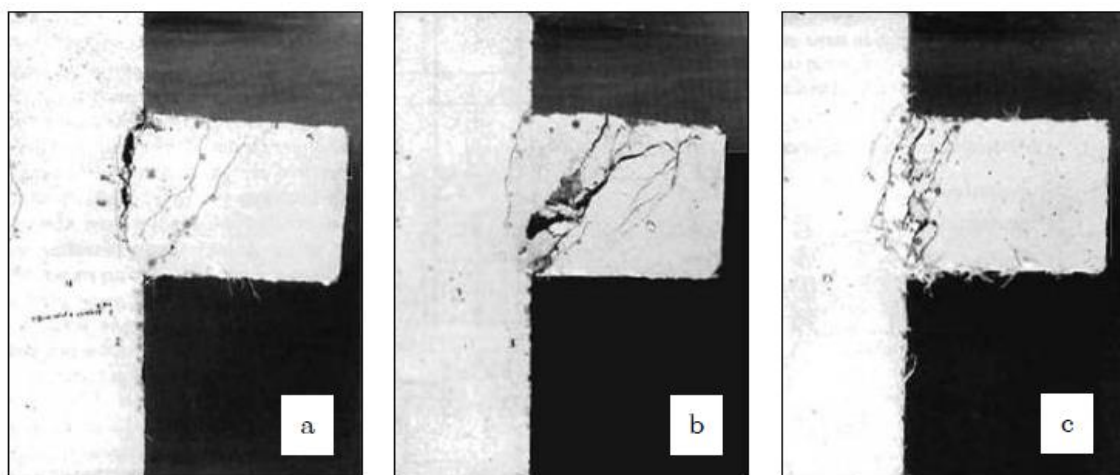


Figura 6. Ruptura típica de: (a) flexão; (b) fendilhamento da biela de concreto; (c) cisalhamento.

Fonte: adaptado de Hughes e Fattuhi, 1989.

### **2.3.4 Ruptura Por Falta de Ancoragem**

É caracterizada por fissuras que seguem o contorno da armação. Ocorre quando a força está aplicada muito próxima da extremidade do consolo, de forma que a ancoragem não seja suficiente, ou ocorre devido a um detalhamento inadequado da armadura, de forma a não envolver o carregamento aplicado no consolo (TORRES, 1998).

### **2.3.5 Ruptura Devido à Ação Horizontal**

Uma ação horizontal agrava consideravelmente os mecanismos de ruínas anteriores. O esforço horizontal nem sempre é conhecido e pode ser decorrente de pontes rolantes, retração da peça de concreto apoiada sobre o consolo ou ainda devido à ação do vento. Um caso típico desta ruína ocorre quando a altura do consolo em seu bordo externo  $h_1$ , é muito pequena se comparada à altura  $h$  do consolo junto ao pilar. Isto provoca o surgimento de fissuras que não se desenvolvem até o pilar, mas atravessam o consolo, chegando até o bordo inferior (TORRES, 1998).

### **2.3.6 Ruptura Por Esmagamento Local**

A ruína por esmagamento local surge quando, na região de aplicação do carregamento, a tensão de compressão é muito alta, provocando o esmagamento do concreto. Isto pode ocorrer quando existir uma área muito pequena para distribuição da força  $F_d$  (TORRES, 1998).

## 2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Pode-se citar o trabalho “Estudo experimental de consolos de concreto com fibras moldados em etapas distintas dos pilares”. O autor Jonatas B. A. Costa (2009, p.141) enfatiza que a produção industrial do consolo tradicional apresenta dificuldade devido à grande quantidade de armadura em um espaço pequeno. Além da armadura do tirante, têm-se estribos verticais e horizontais. O presente trabalho apresenta um consolo moldado em etapa anterior à do pilar, com a armadura e superfícies preparadas para a ligação posterior com o pilar, durante a concretagem deste elemento. O consolo dispõe somente da armadura do tirante principal e de fibras metálicas incorporadas à matriz de concreto, sem estribos verticais e horizontais. Em alguns modelos foi utilizado um tipo de armadura de costura alternativo. As principais variáveis analisadas foram a taxa de armadura e o arranjo das barras dos tirantes. A adição de fibras ao concreto do consolo reduziu a fissuração na biela de compressão e aumentou a resistência à ruptura dos consolos apresentando boa ductilidade, mesmo depois da máxima solicitação. Os modelos de consolo moldados em etapas distintas apresentam aberturas de fissuras na interface consolo-pilar consideravelmente maiores em relação aos consolos tradicionais, apesar de demorarem mais para aparecer. Contudo, quando aumentada a taxa de armadura principal, os modelos moldados em etapas distintas demonstraram fissuras menores que consolos tradicionais (COSTA, 2009).

Cita-se também o trabalho denominado de “Consolos instalados em etapa posterior a concretagem de pilar com auxílio de adesivo químico”. O autor João Henrique Lannes Damasceno (2016, p.5) descreve que um dos princípios mais importantes no projeto de ligações é uma concepção simples. Para se otimizar o processo de fabricação deve-se evitar furos e saliências. O presente trabalho visa estudar a alternativa de utilizar adesivo químico para a instalação de barras que compõe a armadura e concretagem do consolo em etapa posterior à execução do pilar. A pesquisa também traz um programa experimental no qual foram ensaiados três modelos em escala real com consolo curto de mesmas

dimensões, dois consolos com armadura do tirante ancorada com ancoragem química e um consolo monolítico com a armadura ancorada com um gancho dobrado a 90 graus. O consolo monolítico denominado de modelo A foi projetado atendendo-se os requisitos das normas NBR 6118:2014 e NBR 9062:2017. O modelo denominado de B com ancoragem química foi projetado com o mesmo comprimento de ancoragem do modelo monolítico e outro modelo denominado de C com ancoragem química foi projetado conforme as recomendações do fabricante do adesivo químico. Possibilitou-se dessa maneira avaliar através da comparação entre os modelos, a influência no comportamento do comprimento de ancoragem e a segurança desta solução em comparação com um consolo monolítico. O comprimento de ancoragem não apresentou influência no comportamento dos consolos pós-instalados. Todos os modelos apresentaram ruptura por tração na flexão de forma dúctil e cargas últimas maiores que o previsto por normas e modelos de cálculo. Os modelos B e C com ancoragem química tiveram comportamento similar apresentando maior abertura de fissura e menor rigidez em comparação com o modelo monolítico. Os modelos B e C apresentaram fissura que atenta para uma distribuição de tensões diferente na região de ancoragem. A ancoragem química para consolos mostrou comportamento satisfatório necessitando de maiores estudos principalmente no sentido de reduzir a abertura de fissuras no consolo e combater o aparecimento de fissuras no pilar (DAMASCENO, 2016).

No trabalho denominado de “Comparação entre diferentes modelos de cálculo para consolos de concreto pré-moldados”, o autor Marcone Alves de Campos (2010, p.4) descreve alguns métodos para o dimensionamento de consolos de concreto. Utilizou-se os procedimentos presentes na NBR 9062, no manual do PCI e na norma europeia Eurocode 2. Determinaram-se os esforços atuantes nos consolos da estrutura pré-moldada do bloco de salas de aula da Escola de Engenharia utilizando-se um software de cálculo estrutural. Além dos consolos monolíticos, curto e muito curto, também se apresentou o procedimento recomendado para o dimensionamento de consolos muito curto moldados em duas etapas, ou seja, quando o consolo é moldado posteriormente sobre o

concreto do pilar já endurecido com interface rugosa. Finalmente mostrou-se um procedimento para o dimensionamento de chumbadores em consolos submetidos a momento de torção quando o chumbador faz parte do mecanismo resistente ao momento de torção (CAMPOS, 2010).

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentadas as características dos modelos de estudo, seus devidos cálculos, as suas dimensões, armaduras, procedimentos de concretagem e ensaio. Os modelos utilizados e os ensaios foram realizados em uma empresa de Pré Fabricados da região metropolitana de Curitiba.

#### 3.1 METODOLOGIA DO ENSAIO

Realizaram-se os ensaios com modelos de teste em prensa hidráulica no qual foi simulado um carregamento real aplicado no consolo. Foram analisados e comparados os resultados obtidos.

Neste experimento, utilizou-se uma prensa hidráulica, conforme Figura 7, do fabricante MARCON modelo 4212 com capacidade máxima de 100 tf e velocidade de 5 mm/s, defletoômetro do fabricante MITUTOYO de base magnética modelo 7010SN com dois medidores e marcador industrial.



Figura 7. Prensa hidráulica.  
Fonte: o autor, 2016.

Realizou-se o experimento de acordo com o modelo apresentado conforme Figura 8. Primeiramente, posicionaram-se os modelos de teste sobre a estrutura da prensa (pontos de reação) a qual possuía almofadas de elastômero uma sob cada consolo. Na região de aplicação da carga na prensa utilizou-se uma chapa de aço. Estes dois materiais foram utilizados a fim de distribuir uniformemente as pressões na superfície de contato com o concreto. Em seguida, iniciou-se o ensaio para a taxa de carregamento de 40 KN/min, ou seja, utilizou-se uma faixa de cargas de 5, 10, 15, 25, 35, 40, 50, 60, 70, 80 e 95 tf.

Em cada uma delas, anotaram-se os valores referentes à deformação com o auxílio do defletoômetro e também se registrou o mapeamento e evolução das fissuras geradas.

A força foi aplicada continuamente até a ruína do modelo, isto é, até que o mesmo não suportasse incrementos de força. Em alguns casos, o ensaio foi interrompido prematuramente, devido a deformações excessivas. Durante o ensaio foram observadas e marcadas com caneta industrial as fissuras que surgiram no modelo.

Realizou-se o ensaio para cada um dos modelos conforme apresentado no Quadro 1, sendo que os mesmos ficaram voltados para baixo e a carga de trabalho foi aplicada na parte superior do modelo, gerando-se reações de apoio às quais simulam o comportamento real para análise dos resultados.

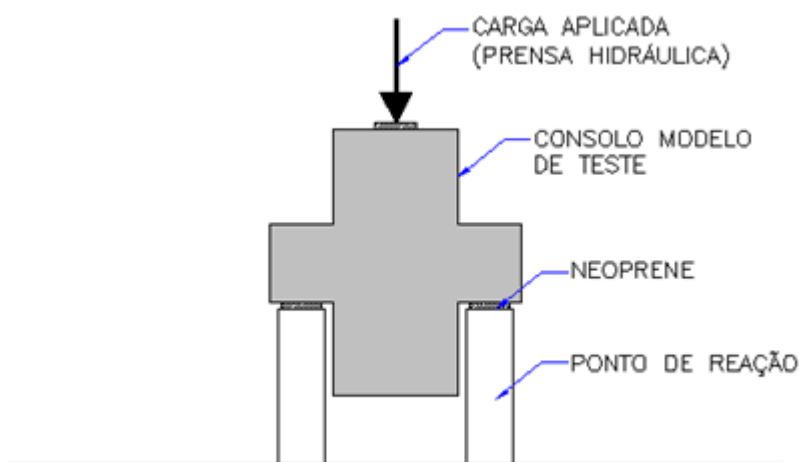


Figura 8. Modelo de ensaio.  
Fonte: o autor, 2016.

### 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados nos modelos são os mesmos utilizados no processo de fabricação das peças pré-fabricadas na indústria, fazendo com que o processo se equipare ao modelo de mercado.

Foi utilizado um concreto com  $f_{ck} = 35$  MPa. Nos ensaios dos corpos de prova o concreto atingiu uma resistência de 45,3 MPa aos 29 dias.

Já o aço utilizado nas armações dos consolos foi composto por barras nervuradas de CA50 com resistência de projeto ao escoamento igual a 500 MPa.

Nas ligações entre pilares e consolos concretados em etapas distintas foi utilizado o grout, material este que é composto por cimento Portland, agregados minerais, aditivos especiais e fluidificantes. Este material requer apenas a adição da quantidade correta de água para obtenção de um material fluido destinado ao groutamento de seções confinadas, neste estudo para um saco de 25 kg, foram utilizados 3,5 litros de água, isento de brita. Neste mesmo estudo foi utilizado este material por apresentar como principal vantagem facilidade de aplicação, podendo ser vertido por gravidade, alta resistência mecânica e alta fluidez e também por ser economicamente viável quando comparado a outros materiais, como o epóxi, por exemplo. Como propriedades técnicas o grout apresenta:

Massa unitária ou específica:  $2.200 \text{ kg/m}^3$

Resistência à compressão às 24hs: 15 MPa.

Resistência à compressão aos 3 dias: 25 MPa.

Resistência à compressão aos 28 dias:  $> 40$  MPa.

### 3.3 DEFINIÇÕES DOS MODELOS

O programa experimental consiste no estudo de seis modelos, conforme apresentado no Quadro 1. Para cada modelo foram moldados três exemplares, resultando num total de 18 peças para o ensaio.

O modelo de estudo possui como premissa as características listadas abaixo:

- Tipo 1: conjunto do pilar e consolo concretados separados e ligados em uma segunda etapa, através de grauteamento.
- Tipo 2: conjunto do pilar e consolo concretados em uma única etapa (sendo monolítico com ancoragem parcial da armadura do tirante).
- Tipo 3: conjunto do pilar e consolo concretados em uma única etapa (sendo monolítico com ancoragem total da armadura do tirante).

Quadro 1. Modelos de consolos.

| TABELA RESUMO DAS PEÇAS ENSAIADAS |     |                   |                              |     |     |
|-----------------------------------|-----|-------------------|------------------------------|-----|-----|
| CONSOLO                           |     | ARMAÇÃO PRINCIPAL | TIPO                         | Fck | a/d |
| M01                               | C1  | 2 Ø 25            | 2a. Concretagem              | 35  | 0,5 |
|                                   | C2  |                   |                              |     |     |
|                                   | C3  |                   |                              |     |     |
| M02                               | C4  | 2 Ø 12,5          | 2a. Concretagem              | 35  | 0,5 |
|                                   | C5  |                   |                              |     |     |
|                                   | C6  |                   |                              |     |     |
| M03                               | C7  | 2 Ø 25            | Monolitico ancoragem parcial | 35  | 0,5 |
|                                   | C8  |                   |                              |     |     |
|                                   | C9  |                   |                              |     |     |
| M04                               | C10 | 2 Ø 12,5          | Monolitico ancoragem parcial | 35  | 0,5 |
|                                   | C11 |                   |                              |     |     |
|                                   | C12 |                   |                              |     |     |
| M05                               | C13 | 2 Ø 25            | Monolitico ancoragem total   | 35  | 0,5 |
|                                   | C14 |                   |                              |     |     |
|                                   | C15 |                   |                              |     |     |
| M06                               | C16 | 2 Ø 12,5          | Monolitico ancoragem total   | 35  | 0,5 |
|                                   | C17 |                   |                              |     |     |
|                                   | C18 |                   |                              |     |     |

Todos os modelos apresentam armadura de costura com 2Ø 8,0mm e armadura vertical com 3Ø 8,0mm. Os modelos M02, M04 e M06 possuem como armadura principal (tirante) aços de diâmetro de 12,5mm CA50, e a ancoragem na ponta do consolo é feita com dobra a 90°. Os modelos M01, M03 e M05 foram armados com aços de 25 mm de armadura principal (tirante) e a ancoragem na ponta feita com uma barra transversal e solda.

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS

Todos os modelos de ligações (consolos) do ensaio são concebidos com as dimensões reais de uma estrutura. As medidas utilizadas no pilar possuem as dimensões 20x40 cm com um comprimento de 85 cm. Já os consolos medem 20x20x25 cm (comprimento, largura e altura), conforme a Figura 9.

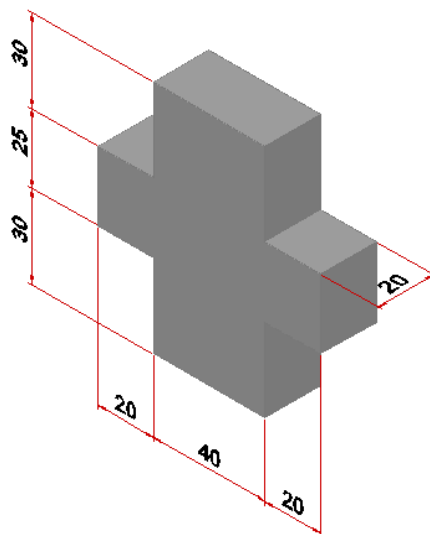


Figura 9. Dimensões reais do pilar e consolo.  
Fonte: o autor, 2016.

Os modelos do ensaio são diferenciados por uma nomenclatura com a letra “M” no início e dois algarismos, na sequência aparece a letra “C” seguida de algarismos, que representa o número da amostra. Dois modelos foram utilizados como referência, M05 e M06 que são peças executadas monoliticamente.

As principais variáveis dos modelos analisados são a taxa de armadura principal (armadura do tirante) e disposições construtivas das armaduras. Os modelos analisados serão do tipo “consolo curto”, com relação  $0,5 \leq a/d \leq 1,0$ , onde “a” é a distância do centro de aplicação da carga até a face do pilar e “d” a altura útil do consolo.

Nos modelos de consolo do tipo M03, M04, M05 e M06 utilizaram-se duas concepções distintas na disposição da armadura principal, uma delas

ancorada parcialmente no corpo do pilar e a outra com esta armadura de forma continua ligando os dois consolos.

Executaram-se os modelos de consolos tipo M03, M04, M05 e M06 monoliticamente, conforme indicados na Figura 10, ou seja, a concretagem do pilar com o consolo foram executados em uma única etapa.

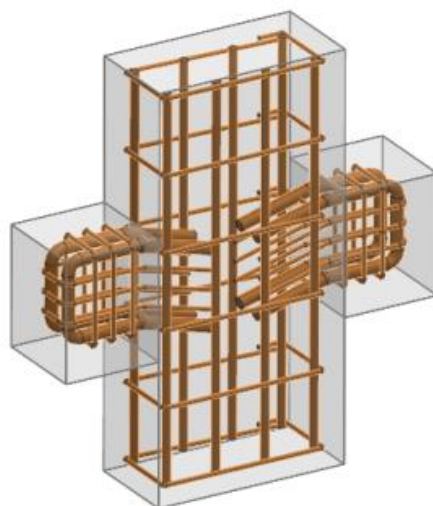


Figura 10. Consolo e pilar executado em concretagem única.  
Fonte: o autor, 2016.

Já nos modelos M01 e M02, executou-se a concretagem do consolo e pilar separados. Nos consolos deixaram-se as esperas, conforme apresentado na Figura 11, e no pilar correspondente deixaram-se bainhas metálicas corrugadas, para fazer união das peças através da utilização de graute.

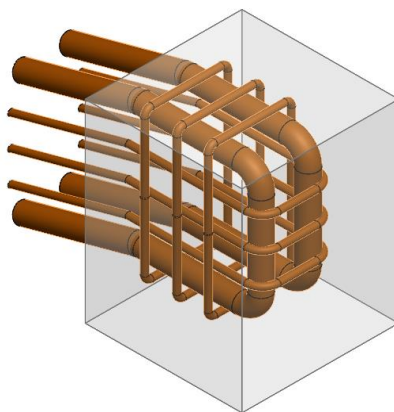


Figura 11. Consolo executado separado.  
Fonte: o autor, 2016.

Para efeito deste trabalho as fôrmas para a moldagem dos modelos foram executadas em chapas de madeira compensada, dispostas na horizontal para a concretagem, desta forma simula a real situação da peça na fábrica.

As etapas de concretagem dos modelos M01 e M02 foram realizadas com o mesmo traço do concreto. A resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) é de 35 MPa. A Figura 12 apresenta a situação final após a concretagem das peças.

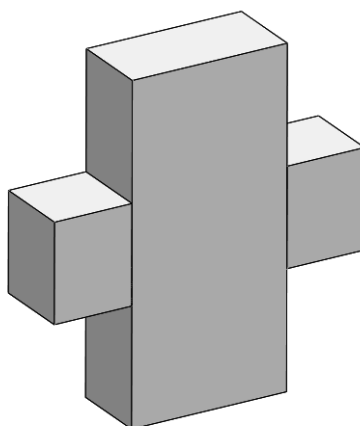


Figura 12. Consolos e pilar concretados.  
Fonte: o autor, 2016.

### 3.5 FABRICAÇÃO DOS MODELOS

Após os devidos cálculos de ancoragem da armadura foi iniciado o processo de fabricação dos modelos. A sequência de fabricação é composta pelas seguintes etapas:

#### 1) Execução da forma de concreto

As formas dos modelos foram confeccionadas com compensado tipo Madeirit de 18 mm de espessura e apoiadas sobre o piso para a concretagem, conforme Figura 13. Foram executados dois tipos de forma: o primeiro contendo uma forma para o pilar e uma forma para o consolo separado, o segundo jogo de formas contendo o pilar e os consolos juntos. Nos modelos M01 e M02 foram

deixados rebaixos nas formas junto a posição do consolo para fazer a chave de cisalhamento após o grauteamento das peças.



Figura 13. Forma de madeira.  
Fonte: o autor, 2016.

## 2) Armaduras

Uma das variações dos modelos foram as diferentes taxas e posições das armaduras, no que se refere à armadura principal do tirante, conforme projetos anexos. Na Figura 14-a esta apresentada à armadura do consolo. Na Figura 14-b está apresentada a armadura do pilar. Estas peças foram concretadas separadas em fases distintas e após a cura do concreto foram unidas através de graute.



Figura 14-a. Confecção da armadura para pilar e consolos distintos.  
Fonte: o autor, 2016.



Figura 14-b. Confecção da armadura para pilar e consolos distintos.  
Fonte: o autor, 2016.

A Figura 15 apresenta a ferragem do modelo onde temos a armadura do tirante com uma ancoragem parcial no consolo. Estes modelos foram concretados em uma única etapa.



Figura 15. Confecção de armadura para pilar e consolos monolíticos (ancoragem parcial).  
Fonte: o autor, 2016.

O cobrimento das armaduras colocadas nas formas foi especificado em 2,5cm, este valor foi alcançado através da colocação de espaçadores de plástico. A montagem do conjunto forma e armadura estão representadas conforme a Figura 16.



Figura 16. Forma e armadura para pilar e consolos monolíticos (ancoragem parcial).  
Fonte: o autor, 2016.

### 3) Concretagem

Os modelos monolíticos M03, M04, M05 e M06 foram moldados em uma única etapa, conforme representados na Figura 17. Após passar desmoldante na fôrma, a armação foi posicionada utilizando espaçadores. Os modelos foram concretados e adensados utilizando vibrador de agulha. Os modelos M01 e M02 foram concretados em formas separadas. No pilar foram deixadas bainhas corrugadas metálicas para ser feita a posterior ligação do consolo.



Figura 17. Modelo monolítico concretado.  
Fonte: o autor, 2016.

Após a concretagem, os modelos foram submetidos à cura úmida por 2 dias, sendo mantidos pelo mesmo período sob lona plástica. Após esse período, os modelos foram desmoldados e mantidos ao ar livre até a data do ensaio. O cronograma de moldagem dos modelos e as datas dos ensaios estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Cronograma da moldagem e ensaios.

| MODELO  | DATA DA MOLDAGEM                 | DATA DO ENSAIO DO MODELO |
|---------|----------------------------------|--------------------------|
| M01-C1  | 2a. Concretagem                  | 19/02/2016               |
| M01-C2  | 2a. Concretagem                  | 19/02/2016               |
| M01-C3  | 2a. Concretagem                  | 19/02/2016               |
| M02-C4  | 2a. Concretagem                  | 19/02/2016               |
| M02-C5  | 2a. Concretagem                  | 19/02/2016               |
| M02-C6  | 2a. Concretagem                  | 19/02/2016               |
| M03-C7  | Monolitico com ancoragem parcial | 19/02/2016               |
| M03-C8  | Monolitico com ancoragem parcial | 19/02/2016               |
| M03-C9  | Monolitico com ancoragem parcial | 19/02/2016               |
| M04-C10 | Monolitico com ancoragem parcial | 19/02/2016               |
| M04-C11 | Monolitico com ancoragem parcial | 19/02/2016               |
| M04-C12 | Monolitico com ancoragem parcial | 19/02/2016               |
| M05-C13 | Monolitico com ancoragem total   | 19/02/2016               |
| M05-C14 | Monolitico com ancoragem total   | 19/02/2016               |
| M05-C15 | Monolitico com ancoragem total   | 19/02/2016               |
| M06-C16 | Monolitico com ancoragem total   | 19/02/2016               |
| M06-C17 | Monolitico com ancoragem total   | 19/02/2016               |
| M06-C18 | Monolitico com ancoragem total   | 19/02/2016               |

### 3.6 ANCORAGEM DA ARMADURA

Neste capítulo apresentam-se os dimensionamentos para os dois tipos de barras utilizados nos modelos em estudo. Verificação da aderência conforme item 9.3 NBR 6118/2014.

#### 3.6.1 Dimensionamento para Barras com Diâmetro de 12,5 mm

Para o dimensionamento do comprimento de ancoragem das barras de aço utilizou-se como base a norma ABNTNBR 6118/2014, conforme abaixo:

##### 3.6.1.1 Cálculo do $f_{ctd}$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} = 0,7 * (0,3 * f_{ck}^{\frac{2}{3}})$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 * (0,3 * 35^{\frac{2}{3}})$$

$$f_{ctk,inf} = 2,24 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctd} = \frac{2,24}{1,4} = 1,6 \text{ MPa}$$

##### 3.6.1.2 Cálculo do $f_{bd}$

$$f_{bd} = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * f_{ctd} = 2,25 * 1,0 * 1,0 * 1,6 = 3,6 \text{ MPa}$$

Sendo:

$\eta_1 = 2,25$  (barras nervuradas)

$\eta_2 = 1,0$  (situações de boa aderência)

$$\eta_3 = 1,0 \text{ (para } \varnothing < 32 \text{ mm)}$$

### 3.6.1.3 Comprimento de Ancoragem Básico

$$L_b = \left(\frac{\varnothing}{4}\right) * \left(\frac{f_{yd}}{f_{bd}}\right) = \left(\frac{12,5}{4}\right) * \left(\frac{\left(\frac{500}{1,15}\right)}{3,6}\right) = 377 \text{ mm} = 37,7 \text{ cm}$$

Com:

$$\varnothing \text{ (barra)} = 12,5 \text{ mm}$$

$$CA 50 = 500 \text{ MPa}$$

Para o dimensionamento da ancoragem estabeleceu-se um comprimento de ancoragem de 15 cm. Tal medida é geometricamente proporcional aos modelos dos consolos em estudo. Dessa maneira realizou-se a análise inversa onde se encontrou a força máxima que a ancoragem de 15 cm suporta, conforme abaixo.

### 3.6.1.4 Comprimento de Ancoragem Necessário

$$L_{b,nec} = \alpha * l_b * \left(\frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}\right)$$

$$\alpha = 1,0 \text{ (para barras sem gancho)}$$

$$Carga \text{ em cada consolo} = 13500/2 = 6750 \text{ kgf}$$

$$\text{Braço alavanca binário} = 15 \text{ cm}$$

$$F_{t,binário} = F_t = \left(\frac{6750 * 10}{15}\right) = 4500 \text{ kgf}$$

$$A_{s, \text{calc}} = \left( \frac{5000}{1,15} \right) = \frac{\left( \frac{4500}{2} \right)}{A} = 0,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s, \text{ef}} = \frac{\pi * 1,25^2}{4} = 1,23 \text{ cm}^2$$

$$L_{b, \text{nec}} = 1,0 * 37,7 * \left( \frac{0,52}{1,23} \right) = 15,94 \text{ cm}$$

### 3.6.2 Dimensionamento para Barras com Diâmetro de 25 mm

Para o dimensionamento do comprimento de ancoragem das barras de aço utilizou-se como base a norma ABNT NBR 6118, conforme abaixo:

#### 3.6.2.1 Cálculo do $f_{ctd}$

$$f_{ctk, \text{inf}} = 0,7 f_{ct, m} = 0,7 * (0,3 * f_{ck}^{\frac{2}{3}})$$

$$f_{ctk, \text{inf}} = 0,7 * (0,3 * 35^{\frac{2}{3}})$$

$$f_{ctk, \text{inf}} = 2,24 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk, \text{inf}}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctd} = \frac{2,24}{1,4} = 1,6 \text{ MPa}$$

#### 3.6.2.2 Cálculo do $f_{bd}$

$$f_{bd} = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * f_{ctd} = 2,25 * 1,0 * 1,0 * 1,6 = 3,6 \text{ MPa}$$

Sendo:

$\eta_1 = 2,25$  (barras nervuradas)

$\eta_2 = 1,0$  (situações de boa aderência)

$\eta_3 = 1,0$  (para  $\varnothing < 32$  mm)

### 3.6.2.3 Comprimento de Ancoragem Básico

$$Lb = \left(\frac{\varnothing}{4}\right) * \left(\frac{fyd}{fbd}\right) = \left(\frac{25,0}{4}\right) * \left(\frac{\left(\frac{500}{1,15}\right)}{3,6}\right) = 755 \text{ mm} = 75,5 \text{ cm}$$

Com:

$\varnothing$  (barra) = 25 mm

CA 50 = 500 MPa

Para o dimensionamento da ancoragem estabeleceu-se um comprimento de ancoragem de 15 cm. Tal medida é geometricamente proporcional aos modelos dos consolos em estudo. Dessa maneira realizou-se a análise inversa onde se encontrou a força máxima que a ancoragem de 15 cm suporta, conforme abaixo:

### 3.6.2.4 Comprimento de Ancoragem Necessário

$$Lb, nec = \alpha * lb * \left(\frac{As, calc}{As, ef}\right)$$

$\alpha = 1,0$  (para barras sem gancho)

$$Carga \text{ em cada consolo} = 25500/2 = 12750 \text{ kgf}$$

Braço alavanca binário = 15 cm

$$Ft, binário = Ft = \left( \frac{12750 * 10}{15} \right) = 8500 \text{ kgf}$$

$$As, calc = \left( \frac{5000}{1,15} \right) = \frac{\left( 8500/2 \right)}{A} = 0,98 \text{ cm}^2$$

$$As, ef = \frac{\pi * 2,5^2}{4} = 4,91 \text{ cm}^2$$

$$Lb, nec = 1,0 * 75,5 * \left( \frac{0,98}{4,91} \right) = 15,03 \text{ cm}$$

Para os modelos ensaiados adotaram-se o mesmo comprimento de ancoragem de 15 cm em função da geometria das peças. Dessa maneira não se levou em consideração os valores para lb.,min admitidos na norma ABNT NBR 6118/2014.

### 3.7 CÁLCULO DOS MODELOS

De acordo com a NBR 9062:2017 consolos curtos são elementos para uma relação  $0,5 \leq a/d \leq 1,0$ , e o dimensionamento é feito através do modelo biela/tirante.

#### 3.7.1 Dimensionamento dos Consolos

A seguir são apresentados os modelos matemáticos para dimensionamento dos consolos, seguindo a norma NBR 9062:2017.

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$a = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d = 25 - 5 = 20 \text{ cm}$$

$$\frac{a}{d} = \frac{10}{20} = 0,5$$

3.7.1.1 Verificação da Biela Comprimida para  $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ , conforme NBR 9062:2017.

$$\tau_{wu} = f_{cd}$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{35}{1,4} = 25 \text{ MPa} = \left( 250 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

3.7.1.2 Ângulo da Biela de Compressão

$$\theta = \arctg \frac{d}{a + \frac{a_a}{2}} = \arctg \frac{20}{10 + 7,5} = 48,8^\circ$$

3.7.1.3 Tensão Atuante na Escora

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{0,2 * b * d} \leq \tau_{wu}$$

$$v_d = \tau_{wu} * 0,2 * b * d$$

$$v_d \leq f_{cd} * 0,2 * b * d$$

$$v_d \leq \frac{350}{1,4} * 0,2 * 20 * 20$$

$$v_d \leq 20000 \text{ Kgf}$$

#### 3.7.1.4 Carga Teórica de Ruptura

$$F = \frac{v_d}{1,4} * 2 = \frac{20000 * 2}{1,4} = 28571 \text{ Kgf}$$

#### 3.7.1.5 Verificação da Biela Comprimida para $f_{cj} = 45 \text{ MPa}$

$$\tau_{wu} = f_{cd}$$

$$f_{cj} = 45 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{45}{1,4} = 32,14 \text{ MPa} = 321,4 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

#### 3.7.1.6 Tensão Atuante na Escora de Compressão

$$\tau_{wd} = \frac{v_d}{0,2 * b * d} \leq \tau_{wu}$$

$$v_d \leq \tau_{wu} * 0,2 * b * d$$

$$v_d \leq f_{cd} * 0,2 * b * d$$

$$v_d \leq \frac{450}{1,4} * 0,2 * 20 * 20$$

$$v_d \leq 25714 \text{ Kgf}$$

#### 3.7.1.7 Carga de Ruptura na Prensa

$$F = \frac{v_d}{1,4} * 2 = \frac{25714 * 2}{1,4} = 36734 \text{ Kgf}$$

### 3.7.1.8 Verificação da Força Máxima de Ruptura do Aço a Tração

$$A = \frac{F}{\delta_{ADM}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Aço CA50A } f_y = 500 \text{ MPa} = 5000 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \\ \text{Bitola } \varnothing 12.5 \text{ mm} \rightarrow A = 1,25 \text{ cm}^2 \\ \varnothing 25 \text{ mm} \rightarrow A = 5,00 \text{ cm}^2 \\ \gamma_f = 1,15 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \varnothing 12.5 \text{ mm} \rightarrow F = 2 * 1,25 * 5000 = 12500 \text{ Kgf} \\ 2 \varnothing 25.0 \text{ mm} \rightarrow F = 2 * 5,00 * 5000 = 50000 \text{ Kgf} \end{array} \right.$$

### 3.7.1.9 Força Total de Aplicação na Prensa para Ruptura

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \varnothing 12.5 \text{ mm} \rightarrow F_{TOTAL} = 25 \text{ Tf} \\ 2 \varnothing 25.0 \text{ mm} \rightarrow F_{TOTAL} = 100 \text{ Tf} \end{array} \right.$$

### 3.7.1.10 Resumo das Forças de Ruptura

O Quadro 3 apresenta as forças teóricas máximas onde estão previstas a ruptura dos tipos de materiais utilizados.

Quadro 3. Resumo das forças de ruptura.

| Material                     | Carga máxima na Prensa |
|------------------------------|------------------------|
| Fck 35MPa                    | 28,57 Tf               |
| Fcj 45MPa                    | 36,73 Tf               |
| 2 $\varnothing$ 12,5         | 25,0 Tf                |
| 2 $\varnothing$ 25,0         | 100,0 Tf               |
| Ancoragem $\varnothing$ 12,5 | 13,5 Tf                |
| Ancoragem $\varnothing$ 25,0 | 25,0 Tf                |

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no programa experimental.

A análise é feita observando o panorama de fissuração, a forma de ruptura dos modelos, as forças de escoamento e ruptura do tirante, a abertura da junta entre o consolo e o pilar, o deslocamento vertical e a comparação dos resultados com modelos analíticos.

### **4.1 PANORAMA DE FISSURAÇÃO E FORMA DE RUPTURA**

A seguir são descritos e ilustrados as perspectivas de fissuração e a forma de ruptura dos consolos. Em todos os modelos a ruptura foi caracterizada depois de alcançada a força última, ou seja, o concreto ou o aço atingiram a sua capacidade máxima. Os ensaios foram interrompidos quando a prensa atingiu uma carga máxima de 95 tf, respeitando o limite de segurança da mesma.

Adotou-se como padrão de referência para efeito de comparação da deformação a média das deformações dos três consolos que foram concretados monoliticamente com ancoragem total da armadura. Os padrões utilizados são: o Modelo M05 com armadura do tirante de 2 barras de Ø 25 mm e o Modelo M06 com armadura do tirante de 2 barras de Ø 12.5 mm.

#### **4.1.1 Modelo M01 (Consolos C1, C2 e C3).**

O modelo M01 iniciou a fissuração na região da ligação do consolo com o pilar. Em seguida, apareceram fissuras no interior do pilar que aumentaram em quantidade e comprimento juntamente com o aumento da força aplicada. No consolo não apareceram fissuras e houve o arrancamento do concreto no pilar, culminando na ruptura do modelo. Aparentemente, os dois

consolos do modelo não romperam, sendo que a ligação do consolo com pilar é que apresentou fissuras que levou ao colapso do modelo com a possível ruptura do graute ou da bainha metálica corrugada de ligação. A Figura 18-a ilustra o panorama de fissuração do modelo M01-C1, que foi executado em duas etapas de concretagem.



Figura 18-a. Panorama de fissuração do modelo M01-C1.

A Figura 18-b ilustra o panorama de fissuração do modelo M01-C2, que foi executado em duas etapas de concretagem.



Figura 18-b. Panorama de fissuração do modelo M01-C2.

A Figura 18-c ilustra o panorama de fissuração do modelo M01-C3, que foi executado em duas etapas de concretagem.



Figura 18-c. Panorama de fissuração do modelo M01-C3.

A Tabela 1 apresenta as deformações do consolo em função da carga aplicada. O gráfico mostra uma deformação linear até uma carga de aproximadamente 35 tf, quando temos um aumento considerável nas deformações e nas aberturas de fissuras da peça. A primeira fissura da peça ocorreu em torno de 20 tf, com o aumento do carregamento as fissuras aumentaram progressivamente. Pelo dimensionamento do comprimento de ancoragem da armadura principal encontrou-se um valor de carga de 25 tf e no dimensionamento do consolo encontrou-se um valor de carga de 40 tf que é a carga correspondente ao rompimento da biela comprimida. As fissuras iniciaram na região da ligação entre o consolo e o pilar. Com o aumento da aplicação da carga apareceram fissuras no interior do pilar, paralelamente ao seu comprimento na região da ancoragem da armadura do tirante dentro das bainhas metálicas. A ruptura do modelo M01 se deu pelo rompimento da ligação entre o consolo e o pilar arrancando a ancoragem da armadura.

O padrão de referência utilizado para efeito comparativo de deformações foi o Modelo M05, com uma armadura de tirante de 2 barras de 25 mm.

| RESUMO     |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Carga (tf) | M01-C1 | M01-C2 | M01-C3 | Padrão |
| 0          | -      | -      | -      | -      |
| 15         | 0,30   | 1,81   | 0,50   | 0,45   |
| 25         | 1,06   | 2,69   | 1,80   | 0,59   |
| 35         | 2,03   | 3,80   | 2,70   | 0,64   |
| 40         | 3,42   | 4,20   | 3,00   | 0,69   |
| 50         | 4,48   |        |        | 0,72   |
| 60         |        |        |        | 0,81   |
| 70         |        |        |        | 0,90   |
| 80         |        |        |        | 1,01   |
| 95         |        |        |        | 1,11   |

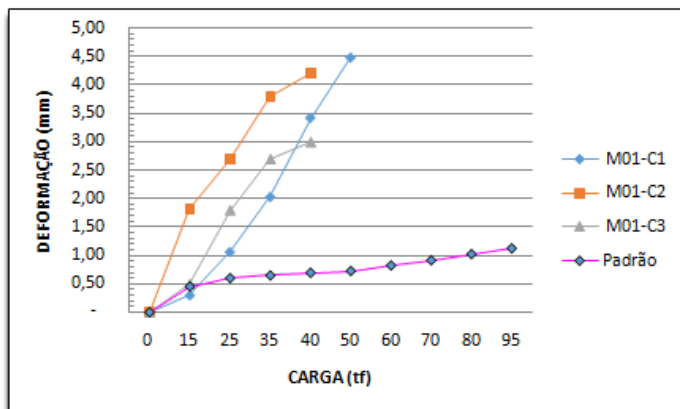


Tabela 1. Gráfico força x deslocamento do modelo M01.  
Fonte: o autor, 2016.

#### 4.1.2 Modelo M02 (Consolos C4, C5 e C6).

O modelo M02 apresentou o mesmo panorama de fissuração e ruptura do modelo M01. A diferença entre os dois modelos está na taxa de armadura principal do tirante.

Iniciou a fissuração na região da ligação do consolo com o pilar. Em seguida, apareceram fissuras no interior do pilar que aumentaram em quantidade e comprimento juntamente com o aumento da força aplicada. Na região do consolo não apareceram fissuras e houve o arrancamento do concreto no pilar, culminando na ruptura do modelo. Aparentemente, os dois consolos do modelo não romperam, sendo que a ligação do consolo com pilar é que apresentou fissuras que levou a ruptura do modelo. A Figura 19-a ilustra o panorama de fissuração do modelo M02-C4, que foi executado em duas etapas de concretagem.



Figura 19-a. Panorama de fissuração do modelo M02-C4.

A Figura 19-b ilustra o panorama de fissuração do modelo M02-C5, que foi executado em duas etapas de concretagem.



Figura 19-b. Panorama de fissuração do modelo M02-C5.

A Figura 19-c ilustra o panorama de fissuração do modelo M02-C6, que foi executado em duas etapas de concretagem.



Figura 19-c. Panorama de fissuração do modelo M02-C6.  
Fonte: o autor, 2016.

A Tabela 2 apresenta as deformações do consolo em função da carga aplicada. O gráfico mostra uma deformação linear até uma carga de 25 tf, quando temos um aumento considerável nas deformações e nas aberturas de fissuras da peça. A primeira fissura da peça ocorreu com aproximadamente 15 tf, com o aumento do carregamento as fissuras aumentaram progressivamente. Pelo dimensionamento do comprimento de ancoragem da armadura principal encontrou-se um valor de carga de 13,5 tf e no dimensionamento do consolo encontrou-se um valor de carga de 40 tf que é a carga correspondente ao rompimento da biela comprimida. As fissuras iniciaram na região da ligação entre o consolo e o pilar. Com o aumento da aplicação da carga apareceram fissuras no interior do pilar, paralelamente ao seu comprimento na região da ancoragem da armadura do tirante dentro das bainhas metálicas. A ruptura do modelo M02 se deu pelo rompimento da ligação entre o consolo e o pilar arrancando a ancoragem da armadura.

O padrão de referência utilizado para efeito comparativo de deformações foi o Modelo M06, com uma armadura de tirante de 2 barras de 12,5mm.

| RESUMO     |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Carga (tf) | M02-C4 | M02-C5 | M02-C6 | Padrão |
| 0          | -      | -      | -      | -      |
| 15         | 0,94   | 0,18   | 0,23   | 0,15   |
| 25         | 1,35   | 1,30   | 1,00   | 0,18   |
| 35         | 4,04   | 3,38   | 4,40   | 0,27   |
| 40         | 9,78   | 3,53   | 7,08   | 0,33   |
| 50         |        | 4,66   |        | 0,35   |
| 60         |        |        |        | 0,42   |
| 70         |        |        |        | 0,48   |
| 80         |        |        |        | 0,55   |
| 95         |        |        |        | 0,61   |

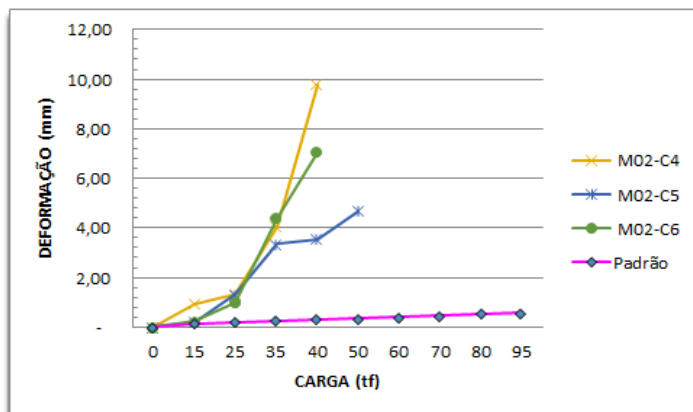


Tabela 2. Gráfico força x deslocamento do modelo M02.

Fonte: o autor, 2016.

#### 4.1.3 Modelo M03 (Consolos C7, C8 e C9).

O modelo monolítico M03, com armadura do tirante ancorada parcialmente no pilar, iniciou a fissuração nos consolos no canto inferior de engastamento do consolo no pilar e com uma inclinação de aproximadamente 45 graus. Na sequência começaram a aparecer fissuras no interior do pilar, paralelas ao seu comprimento.

Com o aumento do carregamento houve um aumento da fissuração na face externa do pilar na região central e também começaram a aparecer fissuras nos consolos. A Figura 20-a ilustra o panorama de fissuração do modelo M03-C7, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem parcial da armadura do tirante. As fissuras iniciais são decorrentes do rompimento da ancoragem, seguindo-se com o aumento da carga para fissuras de flexão.

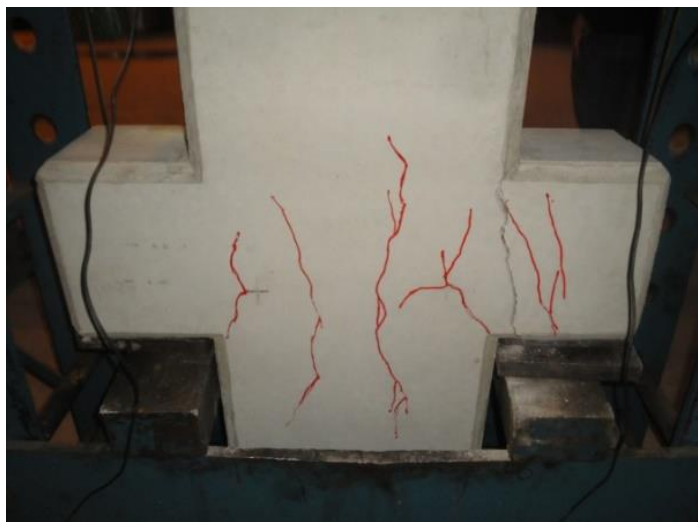


Figura 20-a. Panorama de fissuração do modelo M03-C7.

A Figura 20-b ilustra o panorama de fissuração do modelo M03-C8, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem parcial da armadura do tirante.



Figura 20-b. Panorama de fissuração do modelo M03-C8.

A Figura 20-c ilustra o panorama de fissuração do modelo M03-C9, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem parcial da armadura do tirante.



Figura 20-c. Panorama de fissuração do modelo M03-C9.  
Fonte: o autor, 2016.

A Tabela 3 apresenta as deformações do consolo em função da carga aplicada. O gráfico mostra uma deformação linear até uma carga de 35 tf, quando temos um aumento considerável nas deformações e nas aberturas de fissuras da peça. A primeira fissura da peça ocorreu com aproximadamente 25 tf, com o aumento do carregamento as fissuras aumentaram progressivamente. Pelo dimensionamento do comprimento de ancoragem da armadura principal encontrou-se um valor de carga de 25 tf e no dimensionamento do consolo encontrou-se um valor de carga de 40 tf que é a carga correspondente ao rompimento da biela comprimida. As fissuras iniciaram na região da ligação entre o consolo e o pilar. Com o aumento da aplicação da carga apareceram fissuras no interior do pilar, paralelamente ao seu comprimento na região da ancoragem da armadura do tirante. A ruptura dos modelos se deu pelo rompimento da ancoragem da armadura do tirante do consolo.

O padrão de referência utilizado para efeito comparativo de deformações foi o Modelo M05, com uma armadura de tirante de 2 barras de 25 mm.

| RESUMO     |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Carga (tf) | M03-C7 | M03-C8 | M03-C9 | Padrão |
| 0          | -      | -      | -      | -      |
| 15         | 0,69   | 0,78   | 0,50   | 0,45   |
| 25         | 0,71   | 0,83   | 0,55   | 0,59   |
| 35         | 0,76   | 0,85   | 0,57   | 0,64   |
| 40         | 1,36   | 1,40   | 0,59   | 0,69   |
| 50         | 1,43   | 1,61   | 0,90   | 0,72   |
| 60         | 1,94   | 1,96   | 1,09   | 0,81   |
| 70         | 2,72   | 2,22   | 1,45   | 0,90   |
| 80         |        |        | 1,76   | 1,01   |
| 95         |        |        | 2,69   | 1,11   |

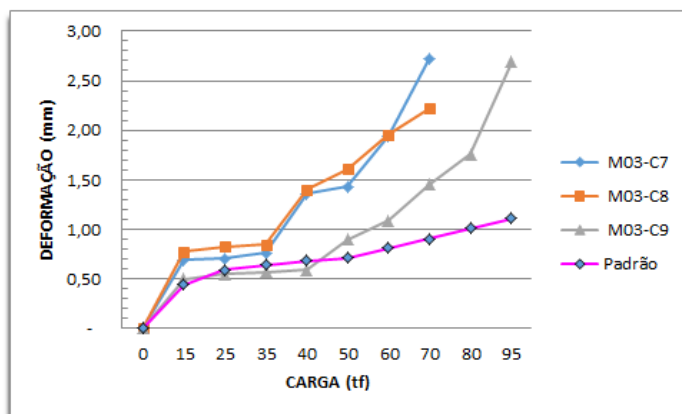


Tabela 3. Gráfico força x deslocamento do modelo M03.  
Fonte: o autor, 2016.

#### 4.1.4 Modelo M04 (Consolos C10, C11 e C12).

O modelo monolítico M04, com armadura do tirante ancorada parcialmente no pilar, com disposição construtiva idêntica ao do M03, só variando a taxa de armadura. O modelo iniciou a fissuração nos consolos, no canto inferior de engastamento do consolo no pilar e com uma inclinação de aproximadamente 45 graus. Na sequência começaram a aparecer fissuras no interior do pilar, paralelas ao seu comprimento e na região de ancoragem da armadura do tirante.

Com o aumento do carregamento houve um aumento da fissuração na face externa do pilar na região central e também começaram a aparecer fissuras nos consolos. A Figura 21-a ilustra o panorama de fissuração do modelo M04-C10, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem parcial da armadura do tirante. As fissuras no consolo são tipicamente de fendilhamento da biela de compressão, aumentando até a ruína do modelo.



Figura 21-a. Panorama de fissuração do modelo M04-C10.

A Figura 21-b ilustra o panorama de fissuração do modelo M04-C11, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem parcial da armadura do tirante.



Figura 21-b Panorama de fissuração do modelo M04-C11.

A Figura 21-c ilustra o panorama de fissuração do modelo M04-C12, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem parcial da armadura do tirante.



Figura 21-c. Panorama de fissuração do modelo M04-C12.  
Fonte: o autor, 2016.

A Tabela 4 apresenta as deformações do consolo em função da carga aplicada. O gráfico mostra uma deformação linear até uma carga de 15 tf, com o aumento da carga o gráfico continua linear, mas com outra inclinação da reta. Quando o carregamento atinge em torno de 45 tf temos um aumento considerável nas deformações e nas aberturas de fissuras da peça. A primeira fissura da peça ocorreu com aproximadamente 15 tf, com o aumento do carregamento as fissuras aumentaram progressivamente. Pelo dimensionamento do comprimento de ancoragem da armadura principal encontrou-se um valor de carga de 13,5 tf e no dimensionamento do consolo encontrou-se um valor de carga de 40 tf que é a carga correspondente ao rompimento da biela comprimida. As fissuras iniciaram na região da ligação entre o consolo e o pilar. Com o aumento da aplicação da carga apareceram fissuras no interior do pilar, paralelamente ao seu comprimento na região da ancoragem da armadura do tirante, idênticas as fissuras apresentadas no modelo M03. A ruptura dos modelos se deu pelo rompimento do concreto do consolo, caracterizado pelo fendilhamento da biela de compressão. Os modelos tiveram bem caracterizado o escoamento do aço, seguido do rompimento do concreto.

O padrão de referência utilizado para efeito comparativo de deformações foi o Modelo M06, com uma armadura de tirante de 2 barras de 12,5mm.

| RESUMO     |         |         |         |        |
|------------|---------|---------|---------|--------|
| Carga (tf) | M04-C10 | M04-C11 | M04-C12 | Padrão |
| 0          | -       | -       | -       | -      |
| 15         | 1,09    | 0,60    | 0,35    | 0,15   |
| 25         | 1,19    | 0,82    | 0,47    | 0,18   |
| 35         | 1,34    | 0,91    | 0,51    | 0,27   |
| 40         | 1,40    | 0,98    | 0,60    | 0,33   |
| 50         | 1,83    | 1,35    | 0,75    | 0,35   |
| 60         | 1,88    | 1,60    | 0,89    | 0,42   |
| 70         | 2,20    | 1,90    | 1,50    | 0,48   |
| 80         | 2,40    | 2,20    | 1,80    | 0,55   |
| 95         | 2,60    |         | 2,00    | 0,61   |

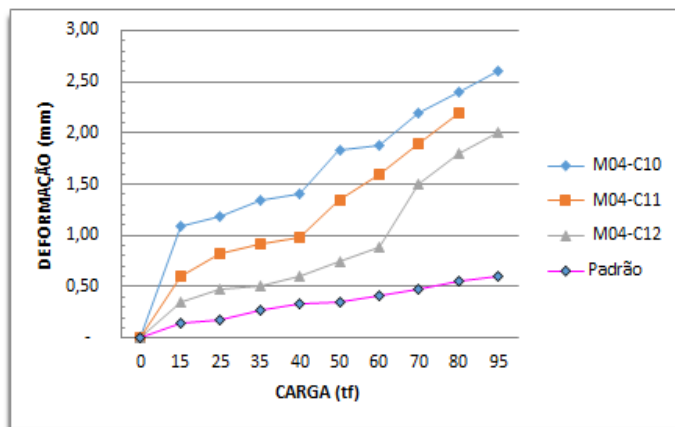


Tabela 4. Gráfico força x deslocamento do modelo M04.  
Fonte: o autor, 2016.

#### 4.1.5 Modelo M05 (Consolos C13, C14 e C15)

O modelo monolítico M05, com armadura do tirante ancorada integralmente no pilar, e com concretagem monolítica. Este modelo iniciou a fissuração nos consolos, no canto inferior de engastamento do consolo no pilar e com uma inclinação de aproximadamente 45 graus. Com o aumento do carregamento houve um acréscimo da fissuração nos consolos. A Figura 22-a ilustra o panorama de fissuração do modelo M05-C13, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem total da armadura do tirante. As fissuras no consolo são tipicamente de flexão, mas não ocorreu o escoamento do aço. O ensaio foi interrompido com o limite da capacidade da prensa, que foi com 95 tf, e não ocorreu o rompimento do consolo.



Figura 22-a. Panorama de fissuração do modelo M05-C13.

A Figura 22-b ilustra o panorama de fissuração do modelo M05-C14, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem total da armadura do tirante.



Figura 22-b. Panorama de fissuração do modelo M05-C14.

A Figura 22-c ilustra o panorama de fissuração do modelo M05-C15, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem total da armadura do tirante.



Figura 22-c. Panorama de fissuração do modelo M05-C15.  
Fonte: o autor, 2016.

A Tabela 5 apresenta as deformações do consolo em função da carga aplicada. O gráfico mostra uma deformação linear até uma carga de 15 tf, com o aumento da carga o gráfico continua linear, mas com outra inclinação da reta, onde temos baixas deformações até um limite em torno de 50 tf. A partir deste ponto começam a aparecer deformações maiores na peça.

Quando o carregamento atinge em torno de 90 tf as deformações e a abertura de fissuras aumentam na peça, mas não ocorre a ruptura da mesma. As fissuras são características de ruptura por fendilhamento através da biela comprimida.

| RESUMO     |         |         |         |       |
|------------|---------|---------|---------|-------|
| Carga (tf) | M05-C13 | M05-C14 | M05-C15 | Media |
| 0          | -       | -       | -       | -     |
| 15         | 0,60    | 0,26    | 0,48    | 0,45  |
| 25         | 0,69    | 0,58    | 0,51    | 0,59  |
| 35         | 0,70    | 0,60    | 0,62    | 0,64  |
| 40         | 0,72    | 0,67    | 0,67    | 0,69  |
| 50         | 0,75    | 0,69    | 0,71    | 0,72  |
| 60         | 0,92    | 0,75    | 0,77    | 0,81  |
| 70         | 1,09    | 0,77    | 0,85    | 0,90  |
| 80         | 1,31    | 0,79    | 0,93    | 1,01  |
| 95         | 1,47    | 0,79    | 1,07    | 1,11  |

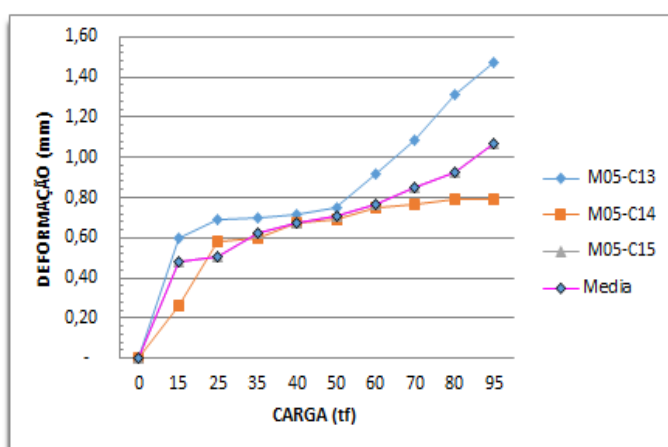


Tabela 5. Gráfico força x deslocamento do modelo M05.  
Fonte: o autor, 2016.

#### 4.1.6 Modelo M06 (Consolos C16, C17 e C18)

O modelo monolítico M06, com armadura do tirante ancorada integralmente no pilar, idêntico ao modelo M05, mas com uma menor taxa de armadura no tirante. Este modelo iniciou a fissuração nos consolos, no canto inferior de engastamento do consolo no pilar e com uma inclinação de aproximadamente 45 graus.

Com o aumento do carregamento houve um acréscimo da fissuração nos consolos. A Figura 23-a ilustra o panorama de fissuração do modelo M06-C16, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem total da armadura do tirante. As fissuras no consolo são tipicamente de flexão. A partir da aplicação da carga de 60 tf a armadura começou a escoar e as fissuras começaram a aparecer na interface do consolo com o pilar.



Figura 23–a. Panorama de fissuração do modelo M06-C16.

A Figura 23-b ilustra o panorama de fissuração do modelo M06-C17, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem total da armadura do tirante.



Figura 23–b. Panorama de fissuração do modelo M06-C17.

A Figura 23-c ilustra o panorama de fissuração do modelo M06-C18, que foi executado em uma única etapa de concretagem, mas com uma ancoragem total da armadura do tirante.



Figura 23–c. Panorama de fissuração do modelo M06-C18.  
Fonte: o autor, 2016.

A Tabela 6 apresenta as deformações do consolo em função da carga aplicada. O gráfico mostra uma deformação linear até uma carga de 15 tf, com o aumento da carga o gráfico continua linear, mas com outra inclinação da reta, onde temos baixas deformações até um limite em torno de 60 tf. A partir deste ponto começam a aparecer deformações maiores na peça.

Quando o carregamento atinge em torno de 90 tf as deformações e a abertura de fissuras aumentam na peça. A partir da aplicação da carga de 30 tf a armadura começou a escoar e as fissuras começaram a aparecer na interface do consolo com o pilar e no próprio consolo. As fissuras são características de ruptura por flexão através do escoamento do aço do tirante.

| RESUMO     |         |         |         |       |
|------------|---------|---------|---------|-------|
| Carga (tf) | M06-C16 | M06-C17 | M06-C18 | Media |
| 0          | -       | -       | -       | -     |
| 15         | 0,19    | 0,15    | 0,10    | 0,15  |
| 25         | 0,24    | 0,17    | 0,12    | 0,18  |
| 35         | 0,45    | 0,20    | 0,17    | 0,27  |
| 40         | 0,51    | 0,22    | 0,25    | 0,33  |
| 50         | 0,53    | 0,26    | 0,27    | 0,35  |
| 60         | 0,55    | 0,34    | 0,37    | 0,42  |
| 70         | 0,57    | 0,42    | 0,44    | 0,48  |
| 80         | 0,65    | 0,48    | 0,52    | 0,55  |
| 95         | 0,78    | 0,51    | 0,53    | 0,61  |

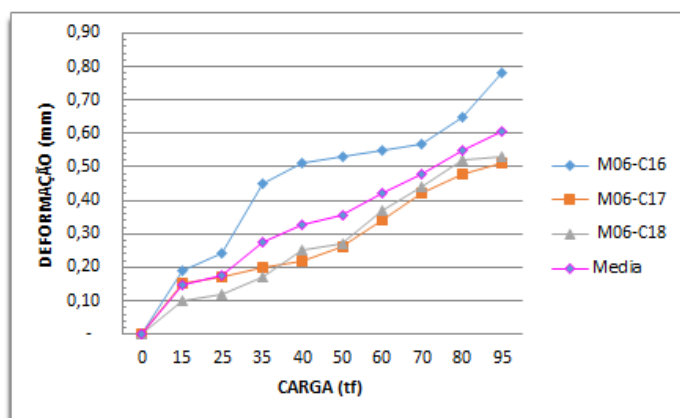


Tabela 6. Gráfico força x deslocamento do modelo M06.  
Fonte: o autor, 2016.

Na Tabela 7 está apresentado um resumo das cargas de ruptura apresentados em cada modelo ensaiado.

| RESUMO COMPARATIVO DE CARGA DE RUPTURA NOS MODELOS |                    |                    |                  |
|----------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| MODELO                                             | ARMADURA PRINCIPAL | CARGA RUPTURA (tf) | CARGA MEDIA (tf) |
| M01-C1                                             | 2Φ25               | 40                 | 38,33            |
| M01-C2                                             |                    | 35                 |                  |
| M01-C3                                             |                    | 40                 |                  |
| M02-C4                                             | 2Φ12.5             | 25                 | 25,00            |
| M02-C5                                             |                    | 25                 |                  |
| M02-C6                                             |                    | 25                 |                  |
| M03-C7                                             | 2Φ25               | 70                 | 70,00            |
| M03-C8                                             |                    | 60                 |                  |
| M03-C9                                             |                    | 80                 |                  |
| M04-C10                                            | 2Φ12.5             | 45                 | 50,00            |
| M04-C11                                            |                    | 60                 |                  |
| M04-C12                                            |                    | 45                 |                  |
| M05-C13                                            | 2Φ25               | 85                 | 91,67            |
| M05-C14                                            |                    | 95                 |                  |
| M05-C15                                            |                    | 95                 |                  |
| M06-C16                                            | 2Φ12.5             | 80                 | 68,33            |
| M06-C17                                            |                    | 60                 |                  |
| M06-C18                                            |                    | 65                 |                  |

Tabela 7. Resumo de cargas de ruptura  
Fonte: o autor, 2016.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais deste trabalho, bem como sugestões para novos trabalhos.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foram atingidos os objetivos propostos no início deste trabalho que era comparar os valores da carga máxima vertical aplicada em dois modelos distintos de execução de concretagem e que a hipótese foi corroborada e pode-se observar que:

O modelo com execução de concretagem monolítica do pilar + consolo, armado com 2Ø 25,0 mm e ancoragem parcial, suporta 82% mais carga que o modelo de 2ª concretagem para mesma armadura.

O modelo com execução de concretagem monolítica do pilar + consolo, armado com 2Ø 25,0 mm e ancoragem total, suporta 139% mais carga que o modelo de 2ª concretagem para mesma armadura. Salientamos que neste caso o ensaio foi interrompido quando o valor da prensa atingiu um valor de 95 tf, e não houve a ruptura do modelo.

O modelo com execução de concretagem monolítica do pilar + consolo, armado com 2Ø 12,5 mm e ancoragem parcial, suporta 100% mais carga que o modelo de 2ª concretagem para mesma armadura.

O modelo com execução de concretagem monolítica do pilar + consolo, armado com 2Ø 12,5 mm e ancoragem total, suporta 173% mais carga que o modelo de 2ª concretagem para mesma armadura.

Pode-se observar que os dois modelos de segunda concretagem (M01 e M02) apresentaram um comportamento similar aos modelos padrão de concretagem única, até um valor de carga de aproximadamente 15 tf. A partir

destes valores de carga os comportamentos destes modelos ficaram muito distantes da curva padrão do consolo, caracterizando a ruptura dos modelos.

Este trabalho não tem a pretensão de concluir sobre qual o melhor modelo de execução de concretagem, mas apenas apresentar comparativamente os resultados encontrados. Fica a cargo dos projetistas analisarem e decidirem qual o melhor modelo a ser utilizado tomando como base a estrutura e os objetivos de sua empresa.

Este trabalho pode servir como material de consulta em cursos de pré-fabricados ou mesmo de projetista estruturais que trabalham com estruturas pré-fabricadas, pois existe pouca literatura nacional sobre este assunto.

Com relação ao dimensionamento dos consolos, utilizaram-se o modelo de consolo curto com relação  $0,5 \leq a/d \leq 1,0$ . Ao se comparar os resultados obtidos nota-se que nos modelos de única etapa de concretagem com armadura total apresentaram os melhores resultados. Ainda comparando-se os modelos de única etapa de concretagem e armadura parcial com os modelos de etapas distintas de concretagem, os primeiros tiveram melhores resultados de carga. Atribuem-se tais diferenças ao processo empregado na execução, pois existem variáveis que podem influenciar nos resultados finais. Dentre essas variáveis possíveis podemos citar o graute, as bainhas metálicas, o confinamento das emendas e o processo executivo. Salienta-se que há a necessidade de se comparar esses procedimentos com resultados de modelagens computacionais de maneira a verificar se de fato ocorre essa redução da resistência dos consolos moldados em duas etapas distintas quando comparados aos consolos monolíticos.

Para as deformações obtidas nos ensaios realizados com os seis modelos de consolos, nota-se que as mesmas possuem valores mínimos de diferença quando comparados entre os diferentes diâmetros das barras de aço. Pode-se elencar como variáveis que influenciaram nos valores das deformações os erros acumulados na calibração dos equipamentos, ajustes e posicionamentos dos equipamentos de leitura, etc.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como foi feito um programa experimental, pode-se deixar em aberto para análise de outros trabalhos, fatores como: o custo de produção envolvido em cada situação desses modelos que foram aqui comparados, bem como estabelecer um desvio-padrão para as cargas de ruptura atingidas por esses modelos ensaiados e também estudar outros tipos de ligações para o consolo concretado em etapa distinta ao pilar, tais como, fixação com epóxi, utilização de luvas ou insertos metálicos, entre outros.

Acredita-se que seja interessante a comparação dos resultados obtidos pelos procedimentos e métodos estudados com os resultados de modelagem computacional. Tal fato possibilitará verificar qual desses procedimentos melhor representa a situação real.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062:** Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 2017.

BRITO R. S. & GANTOIS, C. H. J., Trabalho sobre Estruturas de Concreto Pré Fabricadas em Edifícios de Múltiplos Pavimentos Contra ventados por núcleo rígido. **Seminário estudantil de produção acadêmica** – UNIFACS, 2014.

EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-Moldado:** Fundamentos e Aplicações. 1. Ed. São Carlos: EESC-USP, 2000. 456 p.

FRANZ, G. **Tratado del Hormigón Armado:** Bases Teóricas y Elementos de la Construcción. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, v. 1, 1970.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de Concreto:** Casos Especiais de Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado. 3. Ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, v. 2, 1978.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de Concreto:** Princípios Básicos Sobre a Armação de Estruturas de Concreto Armado. 3. ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, v. 3, 1978.

MELO, CARLOS EDUARDO EMRICH. **Manual Munte de Projetos em Pré-Fabricados de Concreto:** Munte Construções Industrializadas. São Paulo: Pini, 2004.

MENEZES, C.M.T. & EL DEBS, M. K. – **Estudo de Consolos e Dentes de Concreto Moldado em Etapas Distintas para a Ligação de Concreto Pré-Moldado.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, 2009.

TORRES, F. M. **Análise Teórico-Experimental de Consolos de Concreto Armado.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

DAMASCENO, J.H.L. **Consolos Instalados em Etapa Posterior à Concretagem de Pilar com Auxílio de Adesivo Químico.** 2016. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

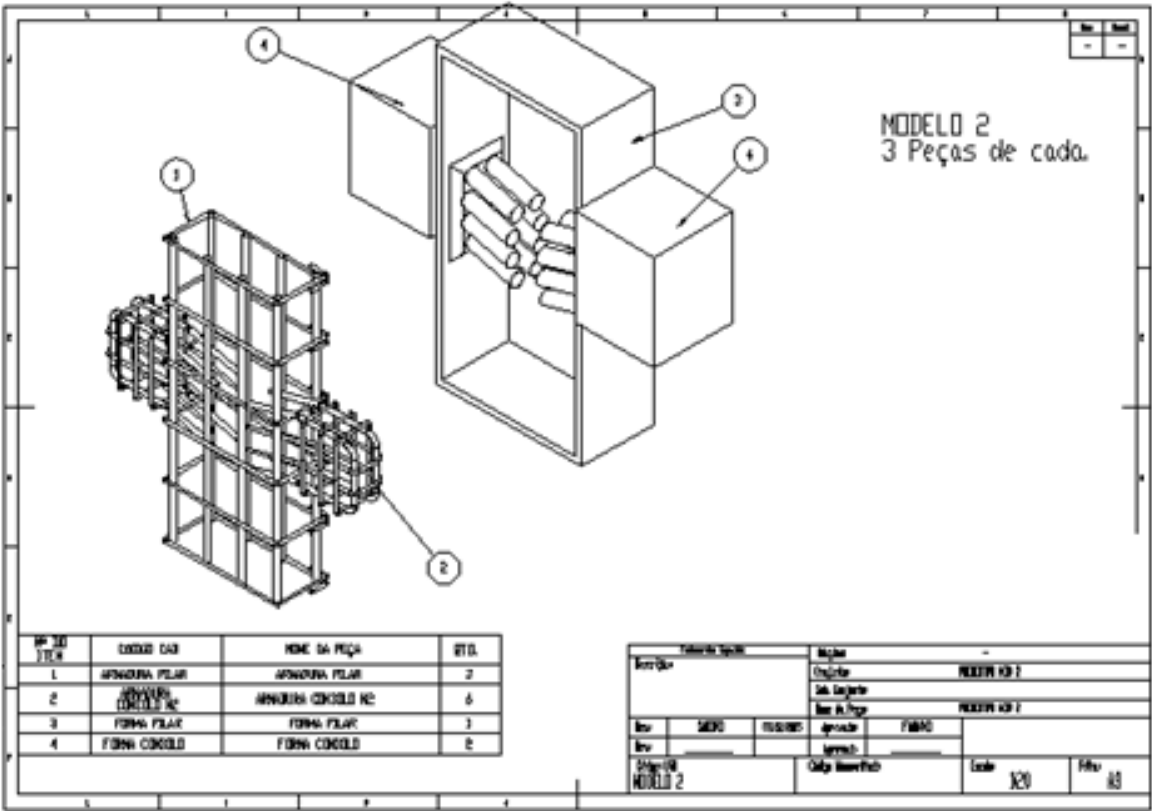
DE CAMPOS, M.A. **Comparação entre Diferentes Modelos de Cálculo para Consolos de Concreto Pré-Moldado.** 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

**COSTA, J.B. de A. & EL DEBS, M.K. Estudo Experimental de Consolos de Concreto com Fibras Moldados em Etapas Distintas dos Pilares.** 2009. (Caderno de Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

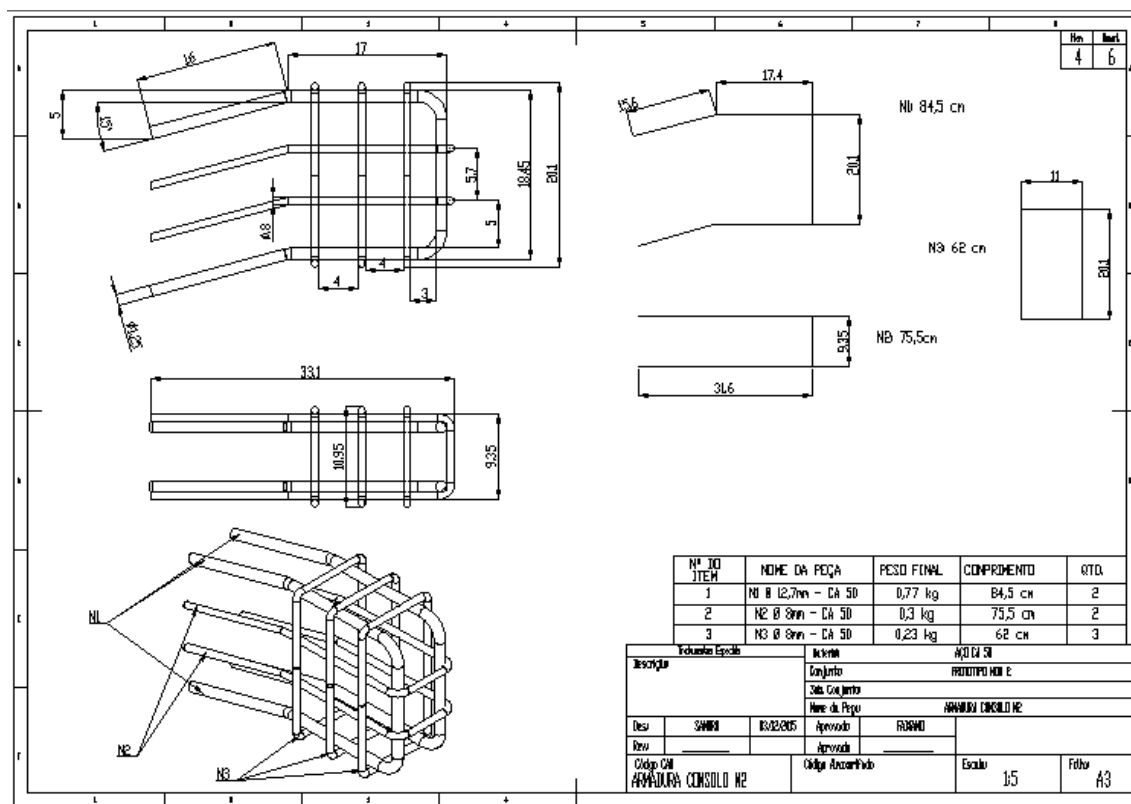




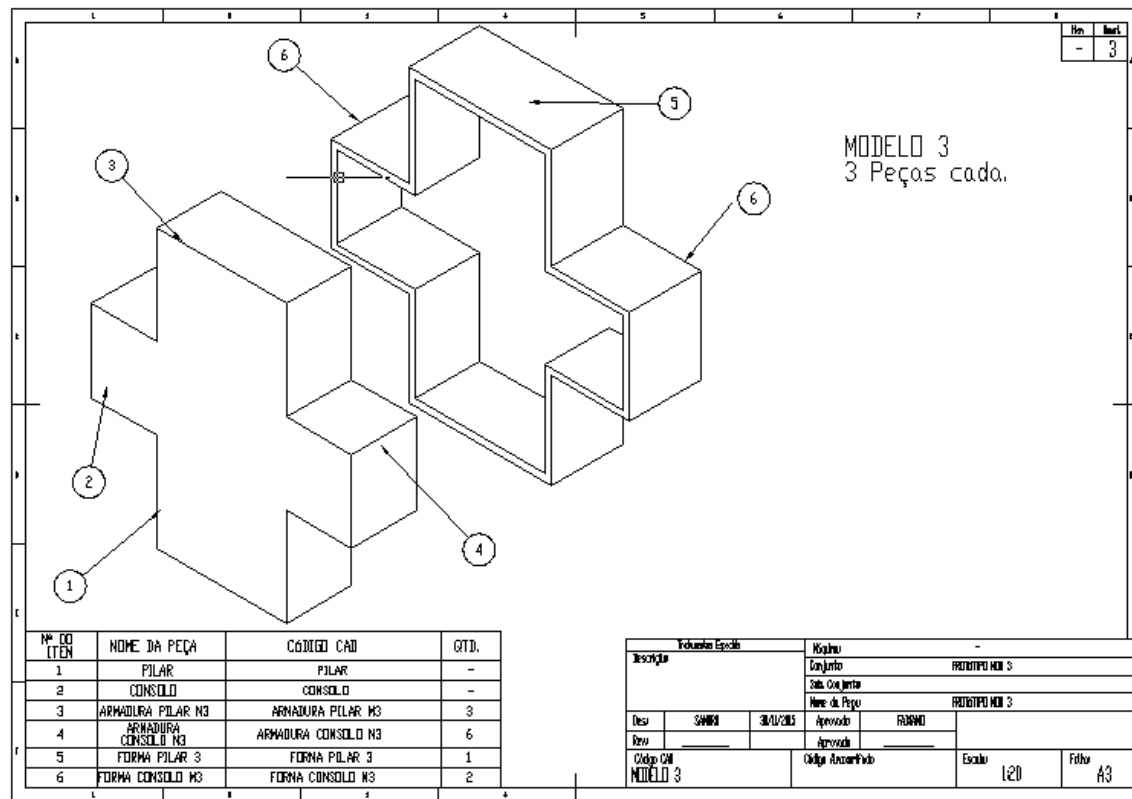
7.3 ANEXO C – MODELO M02



## 7.4 ANEXO D – ARMADURA MODELO M02



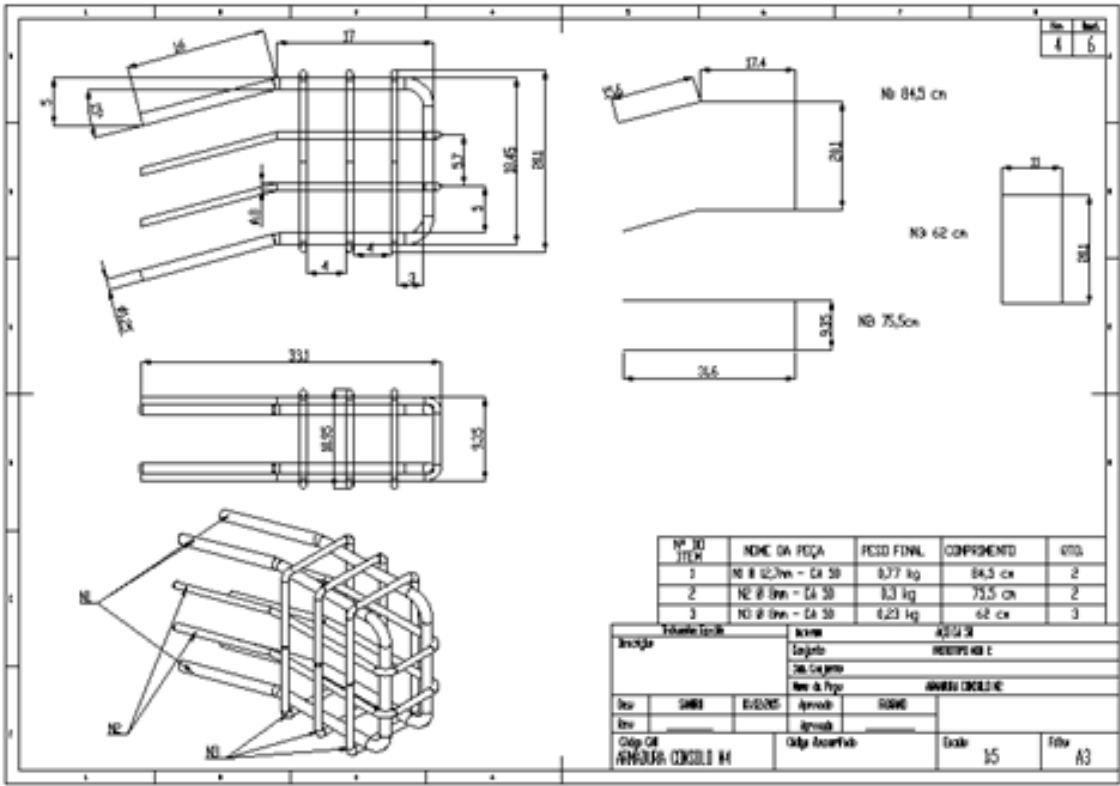
## 7.5 ANEXO E – MODELO M03



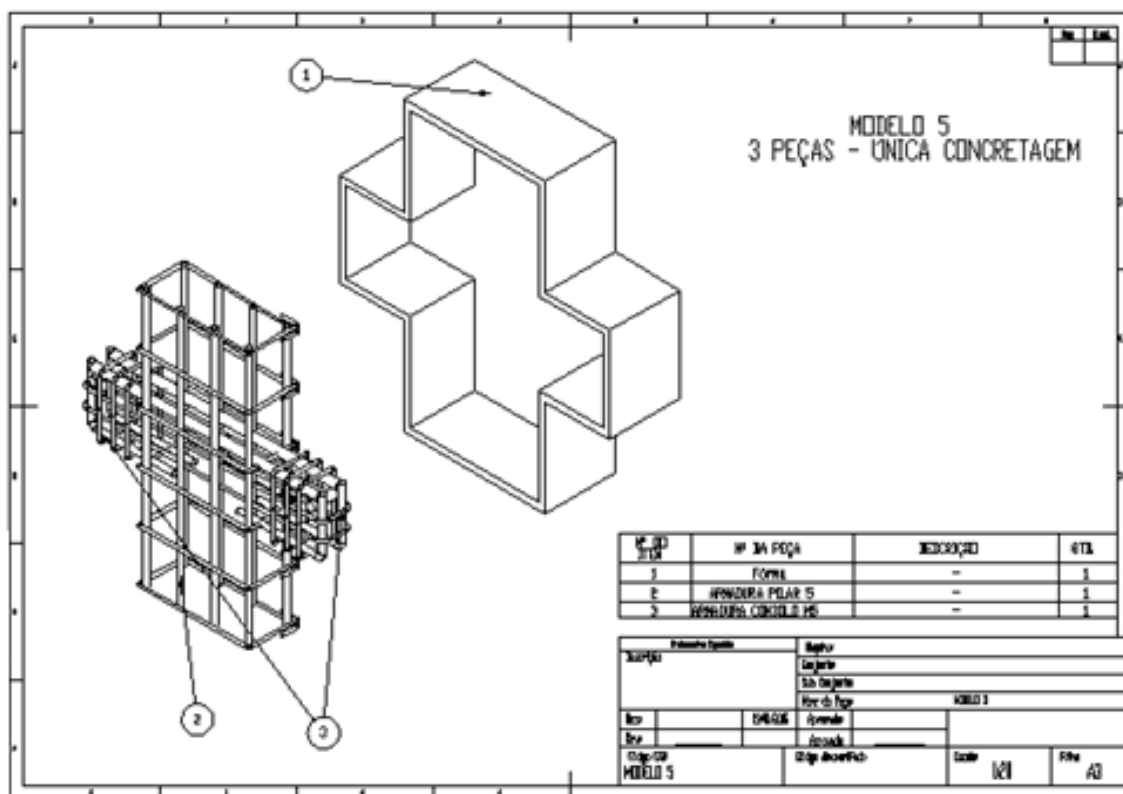




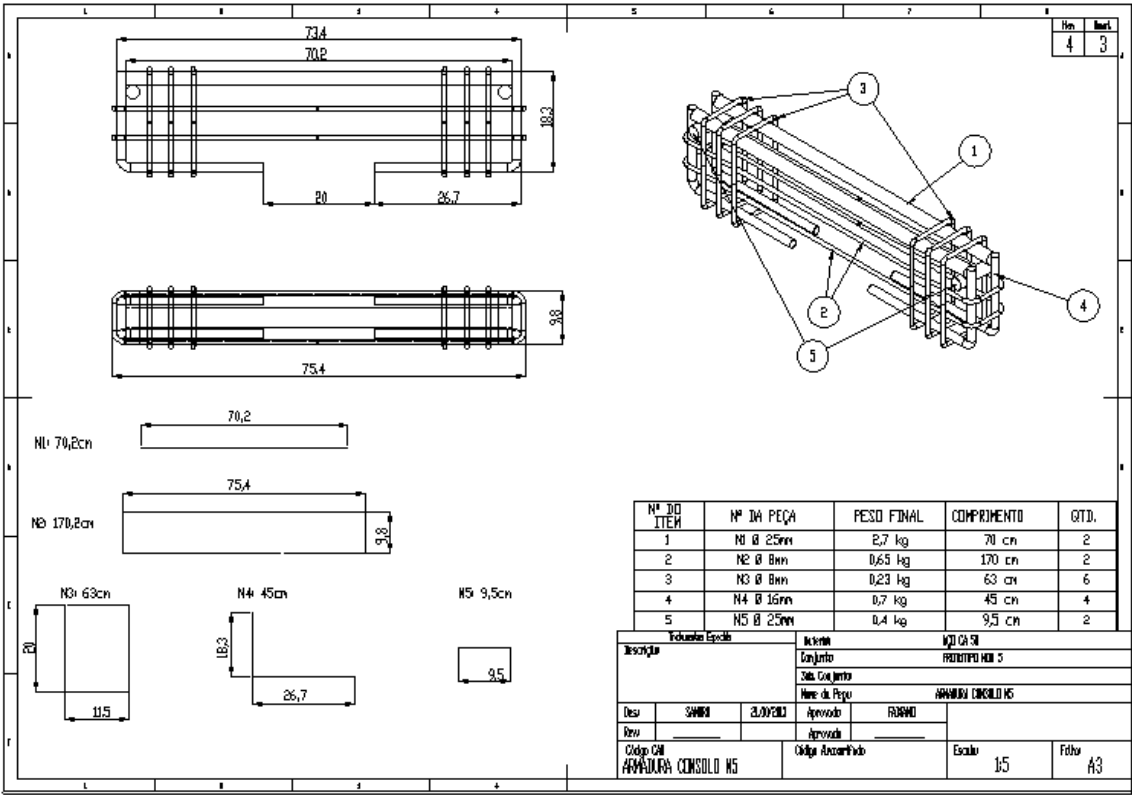
7.8 ANEXO H – ARMADURA MODELO M04



## 7.9 ANEXO I – MODELO M05



7.10 ANEXO J – ARMADURA MODELO M05



## 7.11 ANEXO K – MODELO M06

