

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

ANDRÉ FELIPE BABINSKI
BRUNO DEOTTI

COMPARATIVO TEÓRICO E EXPERIMENTAL SOBRE O
COMPORTAMENTO DE CONSOLES DE PILARES PRÉ-
FABRICADOS, SEGUNDO A NBR 9062 (2017) E SOLUÇÃO
ALTERNATIVA ADOTADA POR EMPRESA DA REGIÃO SUDOESTE
DO PARANÁ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO
2018

ANDRÉ FELIPE BABINSKI
BRUNO DEOTTI

COMPARATIVO TEÓRICO E EXPERIMENTAL SOBRE O
COMPORTAMENTO DE CONSOLES DE PILARES PRÉ-
FABRICADOS, SEGUNDO A NBR 9062 (2017) E SOLUÇÃO
ALTERNATIVA ADOTADA POR EMPRESA DA REGIÃO SUDOESTE
DO PARANÁ

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

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda
Dias

PATO BRANCO
2018

TERMO DE APROVAÇÃO
COMPARATIVO TEÓRICO E EXPERIMENTAL SOBRE O
COMPORTAMENTO DE CONSOLES DE PILARES PRÉ-
FABRICADOS, SEGUNDO A NBR 9062 (2017) E SOLUÇÃO
ALTERNATIVA ADOTADA POR EMPRESA DA REGIÃO SUDOESTE
DO PARANÁ

ANDRÉ FELIPE BABINSKI

e

BRUNO DEOTTI

No dia 20 de junho de 2018, às 14h46min, na SALA DE TREINAMENTOS da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná-UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº18-TCC/2018.

Orientador: PROF. DR. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof^ª. Dr^ª MARINA ROCHA P. P. NUNES (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. MÁRIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por ter nos dado nossas vidas, saúde, força e conhecimento para superar as dificuldades, permitindo que tudo isso acontecesse, sendo o maior mestre e guia.

Aos nossos pais e irmãos por todo o apoio prestado no recorrer do curso, sempre presentes nos momentos difíceis, sendo grandes auxiliares na nossa formação.

À todos os professores que se fizeram presentes ao decorrer do curso, contribuindo com seus conhecimentos. Queremos agradecer imensamente ao prof Dr. Gustavo Lacerda Dias, por ter acreditado em nós, e nos auxiliado durante todo o trajeto percorrido. Aos professores membros da banca Dr^a Marina Rocha P. P. Nunes e Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray, que se disponibilizaram para examinação e nos auxiliaram de várias maneiras.

Enfim, agradecemos a todos nossos colegas que de alguma maneira nos apoiaram, compartilharam conhecimentos. Pois esse tempo sempre será marcado em nossas vidas, todas as memórias serão eternamente lembradas.

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.
Mas se você não fizer nada, não existirão resultados”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

DEOTTI, Bruno; BABINSKI, André Felipe. Comparativo teórico e experimental sobre o comportamento de consoles de pilares pré-fabricados, segundo a NBR:9062 (2017) e solução alternativa adotada por empresa da região sudoeste do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

Visando diminuir as dificuldades encontradas na confecção de consoles de pilares pré-fabricados devido a necessidade de modificações constantes de fôrmas, emprego de mão-de-obra capacitada, aliada com a natural busca na redução de custos e aumento de produtividade, empresas realizam a confecção de consoles de pilares de forma alternativa a NBR 9062:2017, se utilizando de métodos de execução dos consoles nos pilares sem comprovada capacidade resistente, e também alterando uma série de aspectos construtivos dos consoles que dificultam a montagem e produção em massa no dia a dia da fábrica. Sendo assim, este estudo de caso visa realizar testes experimentais com corpos de prova de dimensões reais utilizados no dia a dia de obra, fazendo uso de carga e modelo de console definido de acordo com estudo e critérios estabelecidos pela empresa no método executivo por ela proposto. A partir dos testes foi possível observar uma diferença importante de resistência entre o método empregado pela empresa quando comparado ao método executivo da norma NBR 9062:2017, onde houve diferenças significativas entre os métodos propostos.

Palavras-chave: concreto, console curto, pilar pré-fabricado, métodos alternativos.

ABSTRACT

DEOTTI, Bruno; BABINSKI, André Felipe. Theoretical and experimental comparison on the behavior of prefabricated pillars consoles, according to NBR: 9062 (2017) and alternative solution adopted by a company from the southwestern region of Paraná. Course Completion Work - Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná, 2018.

Aiming to reduce the difficulties encountered in the manufacture of consoles of prefabricated pillars due to the need of constant modifications in forms, the use of skilled labor, allied with the natural pursuit in reducing costs and increasing productivity, companies make the confection of pillars consoles in an alternative way to NBR 9062: 2017, using methods of execution of the consoles in the pillars without proven resistant capacity, and also changing a series of constructive aspects of the consoles that hinder the assembly and mass production in the dairy factory work. Thus, this study aims to perform experimental tests with real prototypes used in the daily manufacture, making use of a load and console models defined accordingly to study and criteria established by the company that make use of this executive method. From the tests it was possible to observe a significant difference in resistance between the method used by the company when compared to the executive method of NBR 9062: 2017, where there were significant differences between the proposed methods.

Keywords: concrete, short console, prefabricated pillar, alternative methods.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Exemplo de ligações articuladas. | 18 |
| Figura 2 - Ligação por meio de chapas. | 18 |
| Figura 3 - Ligação através de esperas e concreto moldado no local. | 19 |
| Figura 4 - Ligação semi-rígida. | 20 |
| Figura 5 - Almofada de apoio. | 20 |
| Figura 6 - Caminho das cargas. | 21 |
| Figura 7 - Modos de ruptura dos consoles. | 22 |
| Figura 8 - Pista de protensão com blocos independentes. | 25 |
| Figura 9 - Dispositivos para içamento. | 28 |
| Figura 10 - Veículos para transporte dos elementos. | 29 |
| Figura 11 – Modelo de cálculo. | 31 |
| Figura 12 - Distâncias para fins construtivos. | 31 |
| Figura 13 - Detalhe de posicionamento de armadura de costura. | 33 |
| Figura 14 - Modelo de biela tirante. | 35 |
| Figura 15 - Modelo para análise de console curto. | 35 |
| Figura 16 - Tabela da taxa mínima de aço. | 39 |
| Figura 17 - Distribuição das armaduras de consoles. | 40 |
| Figura 18 – Dimensões dos protótipos de console curto. | 41 |
| Figura 19 - Esquema de distribuição de armaduras. | 42 |
| Figura 20 - Indicação das armaduras. | 42 |
| Figura 21 - Modos de ruptura dos consoles. | 43 |
| Figura 22 - Dimensões do pilar e dos consoles. | 44 |
| Figura 23 – Distribuição das armaduras. | 44 |
| Figura 24 - Esquema de ensaio. | 45 |
| Figura 25 - Dimensões dos protótipos. | 46 |
| Figura 26 - Console semelhante ao utilizado na empresa. | 47 |
| Figura 27 – Tabela de distribuição das armaduras nos consoles. | 47 |
| Figura 28 - Resultados do método de Guarez e Basso (2016). | 47 |
| Figura 29 - Diagrama. | 49 |
| Figura 30 - Pórtico metálico. | 51 |
| Figura 31 - Transdutor de Força HBM U10M | 51 |
| Figura 32 - QuantumX MX840B - Amplificador Universal de 8 Canais. | 52 |
| Figura 33 - Interface do software de aquisição de dados. | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 34 - Dimensões do pilar e do console (em cm). | 53 |
| Figura 35 - Detalhamento das armaduras conforme empresa. | 54 |
| Figura 36 - Detalhe das armaduras conforme NBR 9062:2017..... | 54 |
| Figura 37 - Detalhe Armadura do Pilar Fonte: Autoria Própria. (2018) | 55 |
| Figura 38 - Esquema de ensaio..... | 55 |
| Figura 39 - Consoles com níveis diferentes..... | 58 |
| Figura 40 - Isopor presente no interior do pilar..... | 59 |
| Figura 41 - Pilar rompido na região do isopor..... | 60 |
| Figura 42 – Armadura do console posicionada. | 60 |
| Figura 43 - Fôrma dos consoles. | 61 |
| Figura 44 - Pinos presentes na fôrma..... | 61 |
| Figura 45 - Console pronto. | 62 |
| Figura 46 - Armadura dos consoles segundo a NBR 9062:2017..... | 63 |
| Figura 47 - Forma de console triplo. | 63 |
| Figura 48 - Esquema de ensaio..... | 66 |
| Figura 49 - Corpo de Prova 1 - Empresa..... | 67 |
| Figura 50 - Corpo de Prova 2 – Empresa..... | 68 |
| Figura 51 - Corpo de Prova 3 - Empresa..... | 68 |
| Figura 52 - Corpo de Prova 1 - NBR 9062:2017..... | 69 |
| Figura 53 - Corpo de Prova 2 - NBR 9062:2017..... | 70 |
| Figura 54 - Corpo de Prova 3 - NBR 9062:2017..... | 70 |
| Figura 55 - Corpo de Prova 1 método 2 da empresa..... | 71 |
| Figura 56 - Corpo de Prova 2 método 2 da empresa..... | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Armaduras presentes nos consoles. | 64 |
| Tabela 2 - Resultados dos carregamentos. | 73 |
| Tabela 3 - Média das cargas dos corpos de prova. | 74 |
| Tabela 4 - Análise de dificuldade de execução. | 76 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Comparativo das cargas de ruptura..... | 73 |
| Gráfico 2 - Média das Cargas..... | 75 |

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 OBJETIVOS | 10 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 10 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 10 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA | 10 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 12 |
| 2.1 O CONCRETO PRÉ FABRICADO | 12 |
| 2.2 BREVE HISTÓRICO DA PRÉ-FABRICAÇÃO..... | 13 |
| 2.3 PRÉ-FABRICAÇÃO NO BRASIL | 14 |
| 2.4 DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE ESTRUTURAS | 15 |
| 2.4.1 Vigas | 15 |
| 2.4.2 Pilares | 16 |
| 2.4.3 Ligação Viga/Pilar | 16 |
| 2.5 PROCESSOS PRODUTIVOS | 22 |
| 2.5.1 – Fôrmas | 23 |
| 2.5.2 Cobrimento das armaduras..... | 24 |
| 2.5.3 Armadura não protendida..... | 25 |
| 2.5.4 Armadura protendida..... | 25 |
| 2.5.5 Resistencia das Fôrmas | 25 |
| 2.5.6 Adensamento | 26 |
| 2.5.7 Cura..... | 26 |
| 2.5.8 Desmoldagem | 27 |
| 2.5.9 Dispositivos para manuseio..... | 27 |
| 2.5.10 Transporte | 28 |
| 2.5.11 Recomendações quanto aos processos produtivos | 29 |
| 2.6 MÉTODO DE CÁLCULO..... | 30 |
| 2.6.1 Disposições construtivas | 30 |
| 2.6.2 Segurança | 33 |
| 2.6.3 Dimensionamento do Modelo Biela Tirante..... | 34 |
| 2.6.4 Biela Comprimida | 36 |
| 2.6.5 Armadura do Tirante | 38 |
| 2.6.6 Armadura de costura (ou secundaria) | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6.7 Armadura transversal | 38 |
| 2.6.8 – Ancoragem da armadura do tirante | 39 |
| 2.7 MÉTODOS DE ENSAIO..... | 41 |
| 2.7.1 Modelo de Naegeli (1988) | 41 |
| 2.7.2 Modelo de Curty (2009)..... | 43 |
| 2.7.3 Ensaio Guárez e Basso (2016)..... | 46 |
| 3. METODOLOGIA UTILIZADA | 48 |
| 3.1 FASES DA PESQUISA | 49 |
| 3.2 PROCEDIMENTOS DO EXPERIMENTO | 50 |
| 3.3 CIMENTO CP V-ARI | 56 |
| 4 ESTUDO DE CASO | 57 |
| 4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA..... | 57 |
| 4.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CONSOLE UTILIZADO NA EMPRESA..... | 58 |
| 4.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE EXECUÇÃO DO CONSOLE NBR:9062-2017.. | 62 |
| 4.4 DIFERENÇA DE ARMADURA ENTRE OS MÉTODOS | 64 |
| 5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 66 |
| 5.1 ANÁLISE DO MODO DE RUPTURA | 67 |
| 5.1.1 Resultado corpo de prova empresa 1..... | 67 |
| 5.1.2 Resultado corpo de prova empresa 2..... | 67 |
| 5.1.3 Resultado corpo de prova empresa 3..... | 68 |
| 5.1.4 Resultado corpo de prova Norma 1 | 69 |
| 5.1.5 Resultado corpo de prova Norma 2..... | 69 |
| 5.1.6 Resultado corpo de prova Norma 3..... | 70 |
| 5.1.7 Resultado do corpo de prova 1 do método 2 da empresa..... | 71 |
| 5.1.8 Resultado do corpo de prova 2 do método 2 da empresa..... | 71 |
| 5.1.9 Resultado do corpo de prova 3 do método 2 da empresa..... | 72 |
| 5.1.10 Análise Global das Rupturas | 72 |
| 5.2 ANÁLISE DOS CARREGAMENTOS..... | 72 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 77 |
| 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 79 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |
| ANEXO A..... | 82 |

1. INTRODUÇÃO

No crescente mercado da construção civil, empresas, profissionais e trabalhadores têm de estar em constante evolução, acompanhando as necessidades dos usuários e buscando inovar, se mantendo sempre competitivo e aplicando as melhores técnicas.

Sendo assim, devido as exigências da sociedade, buscam-se maneiras de dar agilidade e realizar construções que otimizem a utilização de materiais e mão de obra, mantendo a qualidade e o controle de qualidade da produção em níveis condizentes com os padrões de mercado.

Nas últimas décadas, a pré-fabricação ganhou força e mercado, sendo ótima alternativa aos métodos de construção convencionais, pois realiza um processo racional em cadeia produtiva, onde materiais são pouco desperdiçados e aliados ao rigoroso controle de qualidade, trazem produtos de extrema qualidade e confiabilidade, o que é primordial em um mercado tão exigente por desempenho.

Mesmo dentro de um ambiente de projeto e produção rigoroso, existem ainda dificuldades encontradas pelos executores destas estruturas, que procuram alternativas muitas vezes empíricas e em não conformidade com as normativas, trazendo pontos de possível vulnerabilidade ao processo, sendo que essas alternativas quando não analisadas em relação ao seu desempenho podem trazer riscos aos seus usuários, podendo até atingir seu estado limite último, assim procura se contornar essas dificuldades para produzir estes produtos com a qualidade esperada e trazendo consigo a confiabilidade que se espera.

Dentro destes pontos, podemos destacar um dos principais, se não o principal, que é a ligação viga-pilar, caracterizada em pré-moldados pelo console, elemento responsável por transmitir as cargas e dar estabilidade a estrutura, sendo um dos pontos de necessidade de um maior controle de execução (El Debs, 2017).

Dito isso, o presente trabalho tem por objetivo realizar o comparativo e verificação de três métodos executivos dos consoles, em todos os aspectos pertinentes e necessários, um executado conforme as prescrições normativas, e outros dois adaptados por uma empresa de pré-moldados presente na região Sudoeste do Paraná.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar estudo teórico e de desempenho de maneira experimental sobre o comportamento de consoles de pilares pré-fabricados, segundo a NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, e solução alternativa adotada por uma empresa da região Sudoeste do Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar estudo das principais solicitações presentes em consoles curtos segundo a metodologia de cálculo proposta pela NBR 9062:2017; para o dimensionamento e detalhamento de consoles curtos de concreto armado;
- Realizar ensaios experimentais de consoles curtos de pilares pré-fabricados de concreto armado em tamanho real, adotando a solução preconizada pela NBR-9062:2017 e a solução alternativa adotada por empresa localizada na região Sudoeste do Paraná;
 - Analisar e comparar a capacidade de carga dos protótipos ensaiados;
 - Analisar os modos de ruptura dos protótipos ensaiados.

1.2. JUSTIFICATIVA

Atualmente no mercado da construção civil, empresas do ramo tem visto a pré-fabricação de estruturas como principal solução para ganhos em agilidade e qualidade, em obras de médio porte, levando com isso a um menor desperdício nas fases iniciais da construção, e ganhando garantias de execução com qualidade das estruturas adquiridas.

Aliado a isso a exigência de prazos cada vez menores para a execução de obras destinadas a indústria e ao comercio, juntamente com a competitividade do ramo que tem crescido nos últimos tempos, trouxe a necessidade de acelerar os processos produtivos visando reduzir o consumo de tempo de etapas que podem receber estes ajustes, podendo então trazer os ganhos que se espera.

Tendo em vista este aspecto, empresas buscam alternativas para contornar a execução de elementos que são produzidos de maneira minuciosa e demorada, onde assim se faz necessário analisar a concepção destas estruturas em relação à execução em conformidade com as normas vigentes, mais especificamente os consoles curtos, onde tem-se diversos aspectos que necessitam de especial atenção dos executores, para que o projeto propicie a adequada segurança estrutural em uso.

Neste contexto, deve-se ter especial atenção às ligações executadas entre vigas e pilares, pois é sabido que nesta região existe um acúmulo maior de tensões, o que leva a maiores esforços, e é justamente onde os executores apresentam maiores dificuldades em obedecer à normativa estabelecida, buscando então alternativas para uma fabricação com qualidade e que atenda às necessidades de suporte da edificação.

Dentre estas alternativas, pode-se destacar a pós concretagem do suporte das vigas, caracterizado pelo console, que tem por objetivo transmitir a carga recebida pelas vigas para os pilares, que às levarão ao solo. O console, no entanto, dificilmente é executado em conjunto com os pilares, devido ao seu posicionamento no pilar, que muitas vezes muda por característica de cada obra e se posiciona, em alguns casos, no entorno do pilar, em situação desfavorável à sua montagem, e necessitaria de nova construção de formas a cada mudança, tornando então a pré-fabricação de extrema dificuldade.

Sendo assim, percebe-se que algumas empresas da região Sudoeste do Paraná vêm empregando técnicas construtivas alternativas às preconizadas pelas normas técnicas, utilizando a pós concretagem dos consoles como alternativa, deixando vago nos pilares local para esta execução, ou simplesmente engastando barras à estrutura com materiais aderentes. Ocorre, porém, que essas soluções não possuem base científica, trazendo consigo dúvidas sobre este procedimento, no sentido de não ser determinada a eficácia deste tipo de solução, e trazendo então à tona a necessidade de analisar e garantir a eficiência destes métodos.

Por fim, para elucidação deste objetivo, serão desenvolvidos protótipos de pilares curtos em tamanho real e consoles considerando dois métodos de montagem alternativos, utilizados em empresa local, e outro considerando todos os aspectos definidos na norma NBR 9062:2017, e a partir destes será possível realizar o comparativo para determinar a capacidade resistente através de testes e os modos de ruptura das três soluções.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CONCRETO PRÉ FABRICADO

Na atual era da construção civil, o concreto armado é um dos materiais de construção mais utilizados nos canteiros de obra mundo afora, devido as suas propriedades únicas e disponibilidade de materiais e mão de obra, se tornando dominante em obras de engenharia.

Pode-se então destacar algumas das propriedades que o torna tão atraente para ser utilizado na construção civil. Segundo Libânio (2007), algumas das vantagens do concreto são a moldagem, permitindo grande variabilidade de formas e concepções arquitetônicas, boa resistência à maioria dos tipos de solicitação, desde que corretamente dimensionado e adequado detalhamento de armaduras, e também a durabilidade elevada, quando comparada com outros materiais.

Tendo em vista seus pontos positivos, existem também pontos negativos, dentre os quais temos também, segundo o autor citado acima, o elevado peso próprio, custo de formas para a moldagem, entre outros.

O concreto ganhou mercado facilmente, dadas as suas propriedades, e vertentes deste modelo de construção foram sendo utilizadas, trazendo consigo novas maneiras de construir. Este é o caso do concreto armado pré-moldado, que segundo El Debs (2017), trouxe ganhos expressivos para o mercado da construção com a diminuição do tempo de construção, melhor controle dos componentes pré-moldados e a redução do desperdício de materiais na construção.

Aliando isso ao processo de montagem nas fôrmas, que possuem dimensões padronizadas, que segundo El Debs (2017) as fôrmas são de fundamental importância na execução dos pré-moldados, pois são elas que determinam a qualidade do produto e a produtividade do processo, dadas as suas qualidades desejáveis, como a reutilização por inúmeras vezes, estabilidade volumétrica, fácil manejo, pouca aderência ao concreto e facilidade de limpeza, sendo assim essencial no processo produtivo.

Desta maneira a indústria da pré-fabricação ganhou força, pois ao eliminar alguns dos pontos menos eficientes da produção do concreto armado, pôde-se

garantir aos projetistas que a estrutura necessária seria confeccionada e entregue conforme solicitado, com menores descuidos ou incertezas que a confecção no local traz para os construtores (El Debs, 2017).

Assim sendo, a indústria de pré-fabricados tornou-se alternativa importante, sendo amplamente empregado em obras de médio porte, pois trouxe, além dos ganhos já citados, agilidade, eficiência e uma construção mais limpa.

2.2 BREVE HISTÓRICO DA PRÉ-FABRICAÇÃO

De acordo com Vasconcelos (2002), a criação do concreto pré-moldado não tem uma data definida. O próprio concreto armado surgiu moldando-se as peças fora do seu local definitivo de uso, e após isso, começaram a concretar as estruturas no local de utilização. Assim, pode-se afirmar que a pré-moldagem teve seu início junto com a criação do concreto armado.

Segundo Salas (1998) a evolução das estruturas pré-moldadas foi dividida nos seguintes períodos:

- Período de 1950 a 1970: Com a grande destruição e devastação ocasionada pela segunda grande guerra mundial, houve a necessidade de construções em grande escala. Essas construções foram compostas por peças pré-fabricadas, todas vindas de um mesmo fornecedor. Constituindo um ciclo fechado de produção.
- Período 1970 a 1980: Foi um período caracterizado por acidentes em edifícios construídos com grandes painéis de elementos pré-fabricados. Revisando o pensamento na utilização desses elementos, tendo uma grande rejeição social, conseqüentemente reduzindo o sistema de produção de ciclo fechado de construção.
- Pós 1980: Neste período, os grandes conjuntos habitacionais foram construídos por elementos pré-moldados, que foram demolidos devido a uma grande rejeição social.

2.3 PRÉ-FABRICAÇÃO NO BRASIL

Segundo Vasconcellos (2002), a primeira notícia que se tem de uma obra grande com utilização de elementos pré-moldados no Brasil refere-se à execução do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro no ano de 1926. Dentre eles, pode-se citar as estacas nas fundações e cercas no perímetro da área reservada ao hipódromo.

Ainda Vasconcellos (2002) cita que as construções de vários galpões com peças pré-moldados no próprio canteiro, ocorreu alguns anos após ao hipódromo, utilizando técnicas de execução que as montavam deitadas uma sobre as outras, empilhando numa sequência vertical de 10 peças, economizando espaço e tempo, essas peças foram feitas pela Construtora Mauá, especializada em obras industriais.

El Debs (2017) afirma que:

No final da década de 1950 e na década de 1960 chegaram ao Brasil os reflexos do grande avanço do Concreto Pré-Moldado na Europa, que fomentaram o seu emprego no país. Merecem destaque nesse período as aplicações de CPM na construção de Brasília (DF) e na construção da cidade Universitária, em São Paulo (SP).

De acordo com Vasconcellos (2002) a Cidade Universitária em São Paulo, foi uma das primeiras notícias que se teve do emprego do concreto pré-moldado em edificações com vários pavimentos, possuindo 12 edifícios de 12 pavimentos. Essa obra tinha o intuito de alojar estudantes ingressantes de diferentes localidades.

El Debs (2017) cita que as oscilações do mercado e da economia, assuntos ambientais e de segurança, são fatores que refletem grande influência no crescimento do concreto pré-moldado, assim tornando difícil quantificar o crescimento no país. Uma das maneiras de influenciar o emprego do concreto pré-moldado é a inclusão nas disciplinas de concreto nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura, e também a divulgações das informações técnicas aos profissionais do ramo.

2.4 DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE ESTRUTURAS

Entrando nos sistemas estruturais, deve-se estabelecer quais são os elementos que auxiliam a edificação, construída ou não de forma pré-moldada, a transferir as cargas de utilização que atuam sobre o edifício para o solo.

Segundo Clímaco (2013), “Denomina-se estrutura o conjunto de partes consideradas resistentes de uma edificação”.

Pela NBR 6118 (2014), item 14.4 – Elementos estruturais: “Os elementos estruturais básicos são classificados e definidos de acordo com a sua forma geométrica e sua função estrutural”, estes divididos em elementos lineares e elementos de superfície.

Assim, é de interesse estabelecer certa classificação dos tipos de estruturas existentes e maneiras de diferenciá-las.

2.4.1 Vigas

Segundo Libânio (2007), “Vigas são barras horizontais que delimitam as lajes, suportam paredes e recebem ações das lajes ou de outras vigas e transmite para os apoios.”

Pode-se definir então que vigas são elementos lineares que recebem cargas ao longo de seu comprimento e seu esforço preponderante se dá a flexão (Clímaco, 2013).

Bertoli (2007) afirma que no sistema de pré-moldados, há grande variação nos estilos de viga, possuindo vigas retangulares, em seção “I”, e também vigas armadas e protendidas.

Segundo Melo (2004, p. 314):

A menor largura possível é de 15 cm, mas a medida padrão é de 20 cm. No caso de utilização de vigas retangulares protendidas, deve-se verificar a compatibilidade com a posição dos cabos de protensão, que são determinados por um pente fixo na cabeceira da pista. É recomendado que se utilize larguras superiores a 30 cm.

2.4.2 Pilares

Libânio (2007) define os pilares da seguinte maneira: “Barras verticais que recebem as ações das vigas ou lajes e dos andares superiores e as transmitem para os elementos inferiores ou para a fundação.”

Segundo a NBR 6118 (2014) define: “Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.”

De acordo com Pinto (2016), os pilares possuem suas faces lisas, com chanfros nas bordas para melhor efeito visual, possuindo várias formas e dimensões para as seções dos pilares, porém deve-se manter seu alinhamento vertical. As posições dos consoles podem ser variadas, para possibilitar a execução em níveis diferentes.

Conforme Melo (2004), a fabricação dos pilares é de longe a que possui maior dificuldade na execução, tanto nos projetos quanto na fábrica, pois é uma peça que possui as maiores diferenças geométricas. Um dos agravantes disso são os consoles, os quais apesar de serem executados empregando-se fôrmas metálicas que apresentam saliências em direções perpendiculares necessárias para confecção, o mesmo necessita de formatos muito recortados, e há casos que exigem outros segmentos em alguns trechos, tendo a utilização de fôrmas de madeira para execução, tornando esse processo praticamente artesanal.

2.4.3 Ligação Viga/Pilar

Segundo Melo (2004) a presença das ligações é o que distingue as peças pré-moldadas das moldadas in loco, pois as demais partes constituintes da estrutura são iguais.

De acordo com Nóbrega (2004), na região das ligações ocorre acúmulos de tensões que podem deslocar a estrutura mobilizando e redistribuindo os esforços nos elementos conectados por elas, influenciando no comportamento da estrutura, devido a isso pode-se considerar como um trecho em descontinuidade.

Melo (2004) diz que se deve atentar ao tipo de escolha de ligação para cada tipo de estrutura, de acordo com a complexidade de execução, necessidade e economia, pois ela influencia diretamente no custo da obra, na segurança e desempenho quanto a estrutura global.

O objetivo principal das ligações é transferir as forças dos elementos, que foram construídos separadamente, e serão unidos formando a estrutura. Assim, existem três maneiras para que as forças sejam transmitidas (El Debs, 2017):

a) Transferência de forças de compressão

Este tipo de tensão somente pode ser utilizado por contato direto quando as tensões entre os elementos forem baixas, para isso deve existir um bom controle de qualidade na execução para as peças possuírem uma superfície plana e assim um perfeito encaixe. De outro modo, as mesmas podem ser transferidas por dispositivos como elastômeros, elementos metálicos, argamassas de assentamento ou enchimento.

b) Transferência de forças de tração

Esses esforços são transmitidos pelas ligações feitas entre emendas de armadura. Também, por dispositivos metálicos de içamento, ou de fixação presentes imersos no concreto.

c) Transferência de forças de cisalhamento

Esse tipo de esforço é transmitido por ambas as partes constituintes do concreto armado, ou seja, a armadura e o concreto em si. Quando ocorrida pela armadura, ocorre quando se utiliza conectores metálicos unidos por soltas ou parafusos, e também quando se cruzam as ligações com esses elementos. Já quando ocorre pelo concreto, ocorre por atrito, adesão ou chaves de cisalhamento.

Portanto as ligações devem ser criadas de forma a resistir a estes esforços, e essa necessidade constitui um dos principais problemas a serem enfrentados no emprego da pré-moldagem. Em geral as ligações são a parte mais importante no projeto de estruturas de pré-moldados. São de fundamental importância para a produção, montagem da estrutura e execução das ligações, assim como para o comportamento da estrutura já montada (El Debs, 2017).

2.4.3.1 Tipos de ligação

Existem alguns meios de ligação entre as peças, que trazem consigo tipos diferentes de vinculação do momento fletor entre as peças. Podemos destacar os seguintes tipos de ligação (El Debs, 2017):

a) Ligação Articulada:

Esse tipo de ligação normalmente é conectada via placas metálicas soldadas, ou chumbadores. O preenchimento de vazios entre as duas peças não é feito, somente preenche-se o espaço presente dentro dos chumbadores, não havendo assim uma ligação total com a outra peça, sendo perceptível o espaçamento existente no encaixe das mesmas, e não transmitindo momento fletor como podemos observar na figura 1.

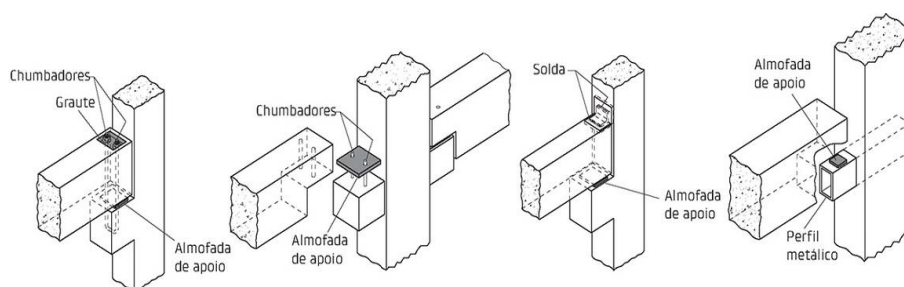


Figura 1 - Exemplo de ligações articuladas.

Fonte: El Debs (2017)

b) Ligação Rígida;

Segundo Melo (2004), a ligação rígida ou engastada é praticamente igual à moldada in loco, devido a sua restrição à rotação. Que pode ser obtida através de esperas nos pilares e vigas, essas esperas podem ser parte da armadura que fica ressaltada para fora da peça, ou chapas metálicas dispostas a fim de unir completamente as peças como podemos ver na figura 2. No caso em que as armaduras fiquem salientes para que possam serem interligados, emenda-se as armaduras e após isso utiliza-se concreto moldado in loco, que após a sua secagem há a união entre as duas peças, como pode ser observado na figura 3.

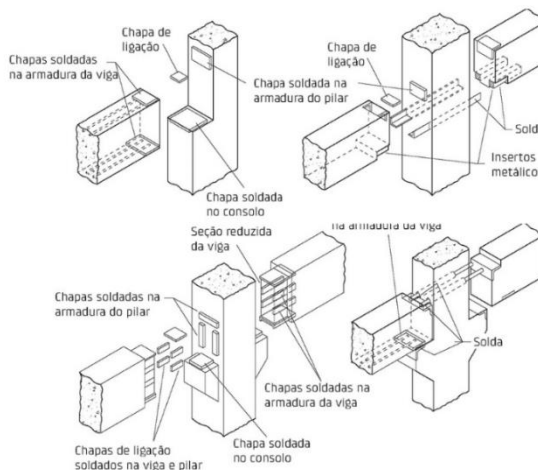


Figura 2 - Ligação por meio de chapas.

Fonte: El Debs (2017)

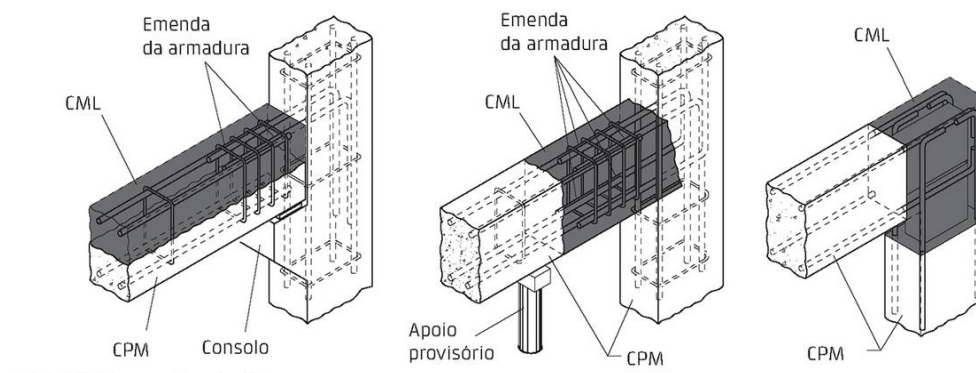


Figura 3 - Ligação através de esperas e concreto moldado no local.

Fonte: El Debs (2017)

Em referência a figura 3, CPM significa concreto pré-moldado, e CML a concreto moldado no local.

c) Ligação Semirrígida:

Ferreira (1999) diz que é um tipo de ligação flexível, podendo ficar próxima aos dois outros tipos de ligações citadas. Devido a flexão entre a articulação e o engaste perfeito, podemos mentalizar o comportamento semirrígido da ligação.

De acordo com Nóbrega (2004) esse é o comportamento real das estruturas devido as ligações serem feitas entre elementos pré-moldados, que seus efeitos influenciam nos deslocamentos verticais das vigas, e nos deslocamentos laterais da estrutura em consequência de seus esforços horizontais.

Segundo Melo (2004) além do pino, o uso de neoprene e/ou graute nesse tipo de ligação é necessário quando consideradas as forças horizontais, além disso o contato entre a viga e o pilar devido ao enchimento dos espaços com o graute, tem uma parcela de esforços que deve se levar em consideração.

A ligação articulada não transmite momento fletor, enquanto a ligação rígida transmite totalmente este tipo de esforço. A ligação semirrígida fica a meio termo entre as primeiras. Podemos observar o exemplo de uma ligação rígida a partir da figura 4:

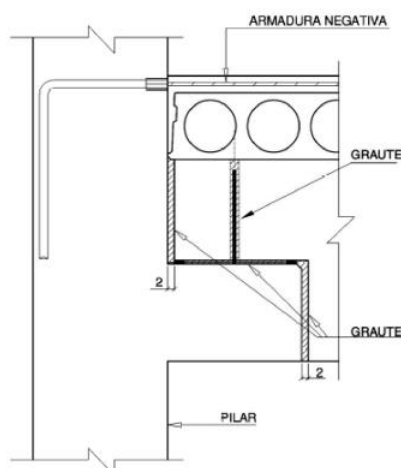


Figura 4 - Ligação semi-rígida.

Fonte: Melo (2004)

2.4.3.2 Interface de ligação

Na montagem da estrutura existem algumas formas de realizar a interface entre console e viga, onde as tensões não são transmitidas diretamente pelo concreto devido à sua baixa flexibilidade. Assim, são criadas “almofadas de apoio”, gerando assim uma maior distribuição de tensões e flexibilidade em toda a área de contato, podendo então eliminar problemas de deslocamentos e rotação, que poderiam causar danos as ligações e conseqüentemente problemas futuros. (El Debs, 2017)

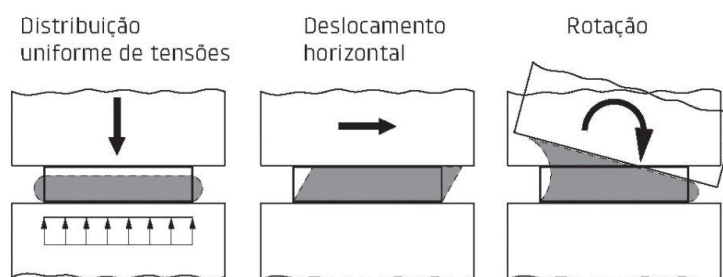


Figura 5 - Almofada de apoio.

Fonte: El Debs (2017)

Para realização desta transferência de cargas são utilizados materiais elastômeros, normalmente o policloropreno, comercialmente chamado neoprene.

2.4.3.3 Caminho das cargas

Nas estruturas pré-moldadas, o dimensionamento das ligações é de fundamental importância. Sendo assim, devemos analisar como esses elementos realizam esta transferência.

Na figura abaixo se realiza uma exemplificação da transferência das cargas da viga para o pilar, através do console:

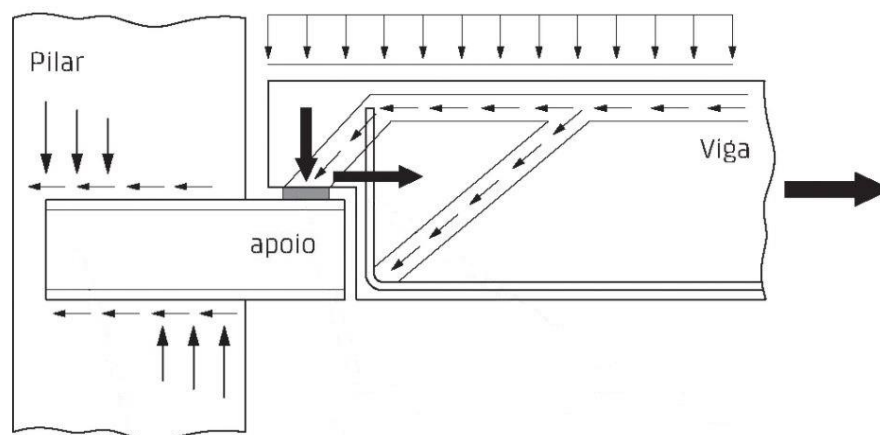


Figura 6 - Caminho das cargas.

Fonte: Adaptado El Debs (2017)

Analisando então a figura, verificamos que as forças verticais se encaminham do vão da viga para a região do apoio, por flexão, juntamente com a armadura de suspensão, posicionada na parte inferior da viga e que continua até a região superior, transferindo o carregamento. Do dente, elas partem para o console executado no pilar, que então transmite para o concreto através das tensões de contato. (El Debs, 2017).

2.4.3.4 Modos de Ruptura dos Consoles

Segundo Hugh e Fattuhi (1989, apud, Costa 2009), os consoles apresentam quatro modos de ruptura principais: ruptura por flexão, fendilhamento da biela de concreto, cisalhamento e corte inclinado. Entretanto o corte inclinado não é comum e não caberá a esse estudo retratá-lo.

Costa (2009) afirma que a quantidade de armadura empregue, a relação a/d dos consoles, e a resistência do concreto à compressão estão devidamente ligadas ao modo de ruptura dos mesmos.

El Debs (2017) nos apresenta três formas de ruínas mais usuais a acontecer no concreto, sendo elas:

a) Deformação excessiva da armadura. (Ruptura por flexão).

Esse modo de ruptura ocorre devido a falha da armadura do tirante, ou seja, há uma deformação demasiada na armadura de flexão.

Curty (2009) diz que quando sujeita a carregamento uma única fissura é apresentada, e assim que se aplica maiores cargas, a mesma se amplia, e leva ao esmagamento na parte inferior do console.

b) Esmagamento do concreto (Ruptura por fendilhamento da biela)

A fissura tem início na localização de aplicação da força, e se estende até o canto inferior do console junto ao pilar, que indica o esmagamento do concreto.

c) Corte direto (Cisalhamento)

Ocorrem fissuras juntamente à ligação entre o console e o pilar, ocorrendo escorregamento do console.

Esses comportamentos citados podem ser observados através da figura 7, onde para os consoles curtos tem-se os dois primeiros como tipos básicos.

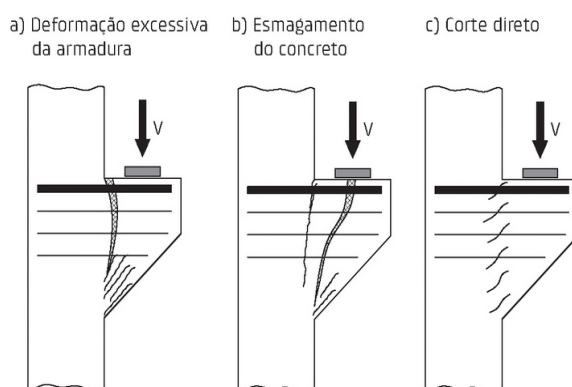


Figura 7 - Modos de ruptura dos consoles.

Fonte: El Debs (2017)

2.5 PROCESSOS PRODUTIVOS

De acordo com Mamede (2001) para um projeto bem elaborado, deve-se ter atenção especial na produção dos elementos evitando patologias na edificação oriundas de um mal controle de produção e garantindo segurança estrutural. Através da montagem das formas, quanto disposição de armaduras, qualidade do concreto, adensamento, transporte e armazenamento, pode-se analisar o controle de produção dos elementos.

El Debs (2017) diz que “a produção das estruturas de concreto pré-moldado engloba todas as atividades compreendidas entre a execução dos elementos pré-moldados e a realização das ligações definitivas”.

Ainda segundo El Debs (2017), para a execução dos elementos pré-moldados, pode-se dividir as etapas de produção descritas a seguir:

- Atividades Preliminares: primeira etapa, caracterizada pelo armazenamento dos materiais, a dosagem e mistura do concreto, o preparo da armadura, e a sua montagem. E em seguida, o transporte do concreto recém-misturado e da armadura para o seu local definitivo de uso.
- Execução propriamente dita: segunda etapa, caracterizada pela preparação da fôrma e da armadura. Moldagem, ou seja, colocação do concreto e seu adensamento. Em seguida com a fôrma concretada, deve-se esperar o elemento atingir a sua resistência adequada para posterior desmoldagem das formas para posterior utilização do elemento.
- Atividades posteriores: terceira etapa, é aonde os elementos moldados são transportados para o local de armazenamento, posteriormente para inspeção, tratamentos finais e eventuais remendos. Após isso os elementos são transportados para um local apropriado até que sejam enviados a obra.

2.5.1 – Fôrmas

Conforme Mamede (2001) “as fôrmas são estruturas provisórias cujas funções principais são conformar o concreto, proporcionar à superfície do concreto a textura requerida e suportar o concreto fresco até que ele adquira capacidade de auto-suporte”.

El Debs (2017) afirma que são a qualidade das formas que determinam a qualidade do produto e produtividade do processo. As qualidades buscadas nas formas são divididas em alguns itens descritos pelo mesmo:

- a) Estabilidade volumétrica, para que as dimensões obedeçam às tolerâncias especificadas;
- b) A possibilidade de reutilização das formas em outra obra;
- c) Fácil inserção das armaduras e elementos especiais no seu interior;
- d) Pouca aderência com o concreto e fácil limpeza;
- e) Simples desmoldagem;
- f) Bom fechamento para não ocorrer vazamento do concreto;
- g) Multifuncionalidade das formas para possível montagem de outras seções transversais;

h) Transportabilidade.

A NBR 9062:2017, p. 72, item 9.5, menciona que as dimensões das fôrmas devem respeitar o projeto das peças, respeitando os critérios de dimensionamento estabelecidos na mesma. Podem constituir as fôrmas materiais como o aço, alumínio, concreto, madeira, revestida ou não de chapas metálicas, fibra, plástico ou outros materiais que atendam às exigências prescritas em normas.

El Debs (2017) cita que nas fábricas a utilização do aço como fôrmas é mais comum, devido a maior possibilidade de reutilização das mesmas. Já para peças fabricadas no próprio canteiro, como a produção não precisa ser em grande escala e grande variabilidade de perfis de elementos, a utilização da madeira é mais comum devido seu menor custo e fácil transporte dentro do canteiro.

A partir disso, podemos dizer que as fôrmas têm um papel fundamental no desempenho e qualidade das peças pré-fabricadas, sendo um dos principais componentes do processo construtivo dos elementos.

2.5.2 Cobrimento das armaduras

De acordo com El Debs (2017), o cobrimento das armaduras além de influenciar na sua proteção quanto aos agentes agressivos, deixando-a imersa dentro do concreto, pode acarretar em transferência das tensões de maneira imprópria. Assim, necessita-se de um cobrimento mínimo para que não ocorra fissuras na direção da ancoragem.

Assim a NBR 9062:2017, nos fornece valores estimados de acordo com o tipo de elemento estrutural, caso se utilize concreto com $F_{ck} > 40$ MPa e relação água cimento menor que 0,45, sendo esses:

- a) 15 mm para lajes em concreto armado
- b) 20 mm para outras peças em concreto armado;
- c) 25 mm para peças aonde há utilização de concreto protendido;
- d) 15 mm para peças achatadas em concreto protendido;
- e) 20 mm para as lajes protendidas.

Caso esses atributos do concreto não sejam atendidos, deve se respeitar o disposto na NBR 6118:2014 em relação aos cobrimentos mínimos.

2.5.3 Armadura não protendida

Segundo Pinto (2016) o processo de armação de elementos pré-moldados, é semelhante aos de estruturas moldadas in loco, porém, o fato das fábricas possuírem melhores estruturas, com equipamentos como máquinas para o corte dos vergalhões de aços, e local adequado para dobragem das armaduras, assim acarreta que o tempo de execução bem como perdas são menores comparado ao sistema convencional.

2.5.4 Armadura protendida

De acordo com El Debs (2017) o método utilizado é o de concreto protendido com aderência inicial, onde há a pré-tração da armadura com a utilização de pistas de que possuem dimensões variando de 80 m a 200 m assim, essas pistas são utilizadas para a execução de elementos simultaneamente. A figura 8 mostra o esquema típico dessas pistas.

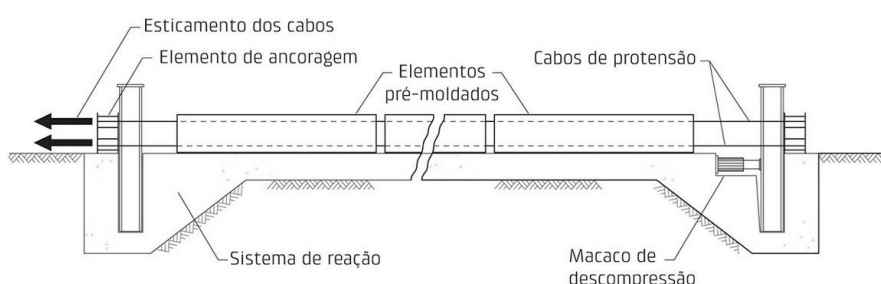


Figura 8 - Pista de protensão com blocos independentes.

Fonte: El Debs (2017)

Segundo o mesmo, há outras maneiras da execução da protensão, como a fôrma móvel, que possui uma limitação podendo somente executar cada peça individualmente. Após a tração é somente usada para fazer a ligação dos elementos in loco, ou para pré-moldados que possuam grandes dimensões.

2.5.5 Resistência das Fôrmas

A NBR 9062:2017 diz que as fôrmas devem resistir aos esforços resultantes do lançamento e adensamento do concreto, e conseqüentemente a extração das peças moldadas. Para obter essa resistência, as formas devem estar devidamente ancoradas em suas bases.

2.5.6 Adensamento

De acordo com Bertoli (2007), o adensamento requer maior atenção nesse método, pela presença de menor relação água/cimento e menor índice de consistência, levando a ter um concreto com trabalhabilidade prejudicada, sendo isto devido ao emprego de concreto mais resistente que requer características mais controladas quando comparado ao moldado in loco.

Segundo a NBR 9062:2017, p. 71, item 9.4.2.1:

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

El Debs (2017) cita que as formas mais comuns de adensamento são por meio de autoadensamento, quando se faz a utilização do concreto auto-adensável, seguidamente da vibração, centrifugação e prensagem.

2.5.7 Cura

Conforme Mamede (2001), a atenção nessa etapa é de fundamental importância, pois é a etapa que proporciona à peça propriedades relativas quanto sua qualidade e durabilidade. Esta etapa é compreendida pela hidratação do concreto.

A NBR 9062:2017, pg. 73, item 9.6, dispõe a cura em dois tipos:

- Cura Normal: o concreto em processo de endurecimento, não deve estar sujeito aos efeitos prejudiciais, entendidos como chuva, agentes químicos, mudanças bruscas de temperaturas, ou seja, agentes que alterem suas propriedades. Para isso, deve-se manter a superfície umedecida, ou com uma película impermeável até à hidratação desejada.
- Cura Acelerada: nesse tipo de cura, o concreto deve estar protegido da mesma maneira que na cura normal. Ela é compreendida pelo endurecimento do concreto por meio de tratamento térmico, isento de vapor em contato com os elementos de concreto.

2.5.8 Desmoldagem

A NBR 9062:2017, pg 72, item 9.5.4, cita que “o projeto e a execução das formas devem atender todas as condições para fácil desmoldagem, sem danificar os elementos concretados, como previsão de ângulos de saída livre, remoção das laterais e cantos chanfrados ou arredondados”.

Pinto (2016) afirma que “o processo de desmoldagem depende diretamente do material utilizado na confecção da fôrma, da inclinação das nervuras e do desmoldante utilizado, que determina a aderência entre o concreto e a fôrma”.

Segundo El Debs (2017), a desmoldagem pode ser feita de três maneiras, descritas a seguir:

- Direta: levantamento do elemento, podendo ser feita com as partes laterais da fôrma, ou com a remoção da mesma.
- Por separação dos elementos: refere-se as fôrmas usadas na execução de painéis, que são dispostas verticalmente e movidas mecanicamente para os locais de armazenamento, transporte ou da devida utilização.
- Por tombamento da fôrma: compreende-se ao elemento que é moldado horizontalmente, e posteriormente tombado em posição vertical.

Ainda El Debs (2017) comenta que normalmente para a desmoldagem dos elementos são utilizados processos mecânicos, como macacos hidráulicos ou a ar-comprimido.

2.5.9 Dispositivos para manuseio

Bertoli (2007) afirma que há o emprego de dispositivos que visam auxiliar o transporte e manuseio das peças, esses dispositivos, como orifícios, laços chumbados, argolas, são previstos antes da concretagem dos elementos, que os mesmos servem para içar as peças.

De acordo com El Debs (2017), esses dispositivos são indispensáveis para o manuseio através do içamento das peças, exceto para as de pequenas dimensões aonde pode-se manejar manualmente. Ele divide em dispositivos internos e externos, que podem ser vistos na figura 9.

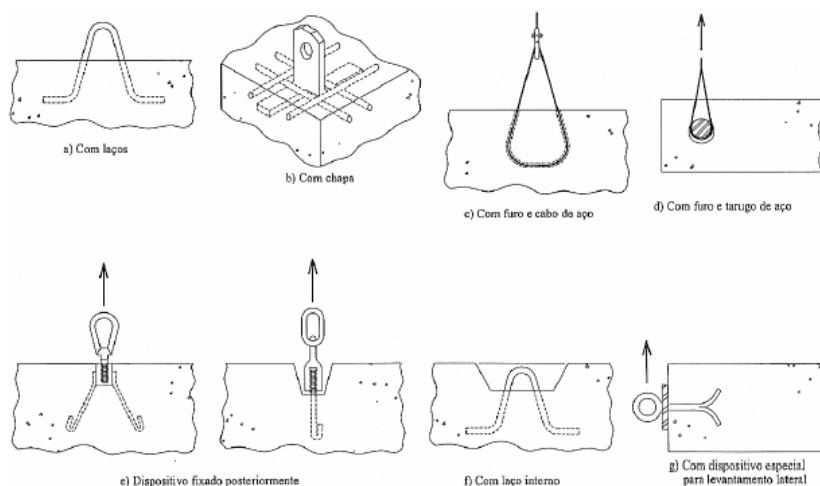


Figura 9 - Dispositivos para içamento.

Fonte: El Debs (2017)

O mesmo afirma que os laços chumbados são os mais empregados, porém, após a montagem da estrutura, deve-se extirpar esses laços com um posterior tratamento contra a corrosão.

2.5.10 Transporte

O transporte corresponde a etapa em que os elementos são mobilizados do seu local de confecção, para o armazenamento, ou local de utilização dos mesmos.

Segundo Pinto (2016), a necessidade de equipamentos especiais, o peso elevado das peças, a exigência de local grande para estocagem devido as grandes dimensões, são umas das desvantagens das peças pré-fabricadas.

Para os elementos moldados em fábrica El Debs (2017) cita que “no Brasil praticamente só se utiliza transporte rodoviário, que pode ser feito por caminhões ou carretas especiais”.

De acordo com a NBR 9062 (2017), pg 75, item 10.3, o transporte deve ser feito por veículo adequado, quanto às dimensões e peso dos elementos pré-moldados a serem mobilizados. Os elementos devem contar com apoios que garantam a estabilidade da peça durante o trajeto, levando-se em consideração as prescrições da norma. Elementos que são dispostos em uma ou mais camadas devem ser devidamente escorados e protegidos para impedir acidentes durante o transporte, garantindo a integridade.

Devido ao tamanho das peças e elevado peso, a forma de transporte rodoviária possui algumas deficiências, e devem obedecer a alguns requisitos quanto suas

dimensões. Se o trajeto de transporte compreende a grandes avenidas, seu comprimento pode ultrapassar um valor limite de referência de 30 m, já em regiões urbanas onde o deslocamento é dificultoso, o limite de comprimento é de 20 m. A largura é fixada com um limite de 2,5 m e a altura em 4,5m. (El Debs, 2017).

Mamede (2011), comenta que um processo para facilitar o transporte dos elementos pré-moldados, são dispô-los em forma de paletes, diminuindo o manuseio isolado de cada peça.

El Debs (2017) nos apresenta através da figura 10 os tamanhos usuais disponíveis para o transporte rodoviário.

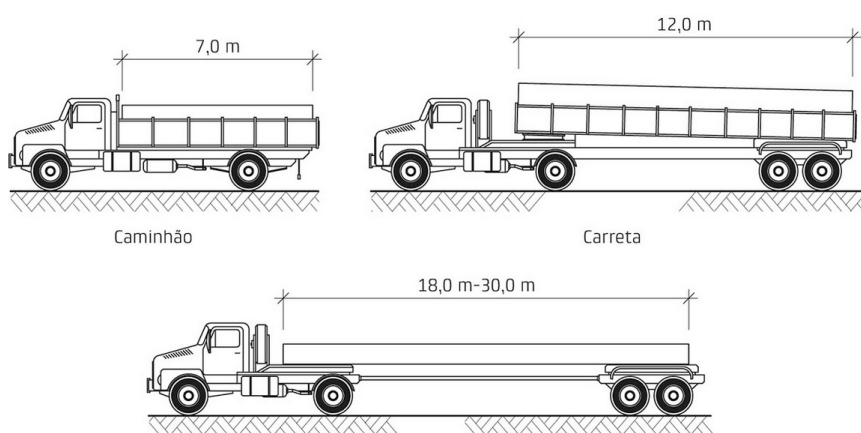


Figura 10 - Veículos para transporte dos elementos.

Fonte: El Debs (2017)

2.5.11 Recomendações quanto aos processos produtivos

El Debs (2017) cita algumas diretrizes que recomendasse atentar durante o processo produtivo, sendo algumas delas:

- a) Padronizar os tipos de ligações, sem muita variação quanto aos dispositivos utilizados;
- b) Não aglomerar armaduras nas ligações para facilitar a entrada e adensamento de concreto;
- c) Levar em conta os raios de dobramento das armaduras;
- d) Evitar trabalho após a desmoldagem dos elementos, como produzi-las perto de seu local de armazenamento;

2.6 MÉTODO DE CÁLCULO

A NBR 9062:2017 fornece subsídios para o dimensionamento e detalhamento de consoles de pilares pré-fabricados, como abordado a seguir.

2.6.1 Disposições construtivas

A partir do item 7.3.2.2 pg 49 da NBR 9062:2017, foi possível classificar o console, onde o tipo de console é dado pela relação da distância onde a carga irá ser aplicada até a face do pilar (a), e a altura útil do console (d). A mesma dispõe alguns itens para a classificação dos consoles, onde há a necessidade de seguir um dos modelos estabelecidos para seus cálculos.

- a) Para $1,0 < a/d < 2,0$, dimensiona-se o console como uma viga em balanço, onde é necessária a verificação na normativa NBR 6118:2014 para flexão e força cortante.
- b) Para $0,5 < a/d < 1,0$, classifica-se o console como console curto, e o seu dimensionamento é feito de acordo com o modelo matemático de uma treliça de barra, mais conhecido como o modelo biela e tirante;
- c) Para $a/d < 0,5$, classifica-se como console muito curto, onde dimensiona-se supondo a ruptura do plano de ligação entre o console e o pilar.

A norma NBR 9062:2017, dispõe em seu item 7.3.2.1, pg 47 algumas generalidades para os cálculos dos consoles curtos com o método das bielas e tirantes. A mesma dispõe da figura 11 que mostra o esquema do modelo de cálculo, e será mostrada a seguir.

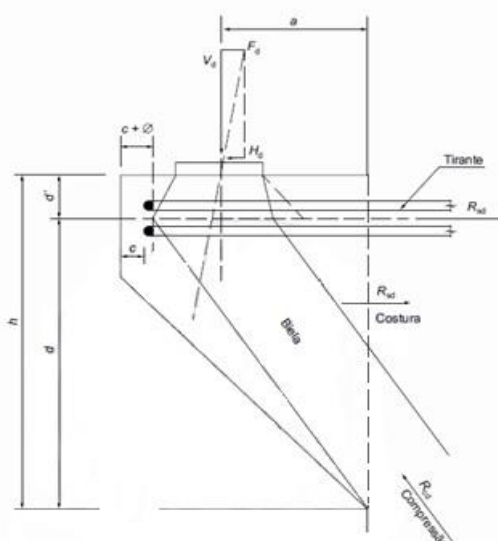


Figura 11 – Modelo de cálculo.

Fonte: Adaptado da NBR 9062 (2017)

Ainda, a NBR 9062;2017 faz considerações que podem ser observadas a partir da figura 12 mostrada a seguir:

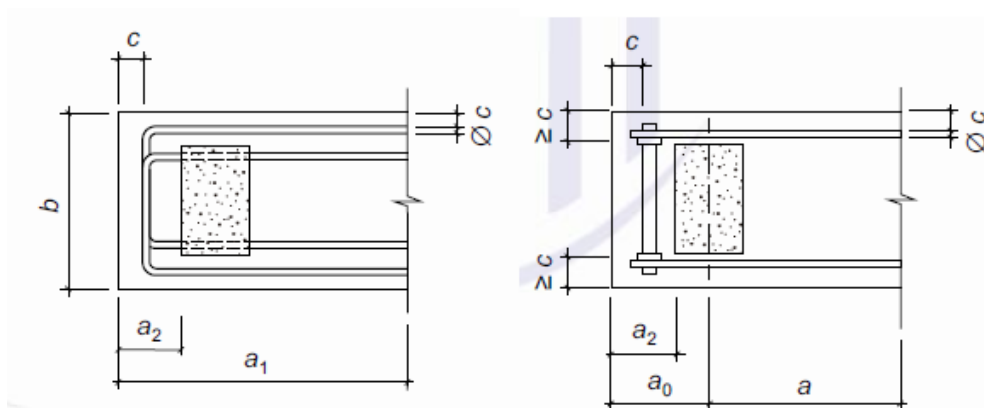


Figura 12 - Distâncias para fins construtivos.

Fonte: NBR 9062 (2017)

A partir das figuras mostradas acima, podemos analisar e compreender, algumas das disposições construtivas contidas na norma. A distância a_1 e b devem levar em conta as folgas, conforme a figura anterior. Além disso a normativa nos prescreve que a distância a_2 medida a partir da face externa do aparelho de apoio (no caso desse trabalho, elastômero) deve possuir algumas distâncias mínimas, mostradas em seguida:

- a) $a_2 = c + \varnothing$, para o tirante ancorado por uma barra transversal soldada com mesmo diâmetro.

- b) $a_2 = c + 3,5 \varnothing$, quando o tirante é ancorado por alças horizontais possuindo um diâmetro maior que 16mm e menor que 20mm, deve-se acrescentar 3,5 vezes o valor do diâmetro armadura.
- c) $a_2 = c + 5 \varnothing$, quando se tem as alças horizontais com diâmetro maior que 20mm, a distância é acrescida de 5 vezes o diâmetro.
- d) $a_2 = c + 4 \varnothing$, no caso em que o tirante seja ancorado por barras verticais que possuam o diâmetro de 16mm ou menor, inclui 4 vezes o diâmetro da armadura vertical.

Há alguns outros requisitos que necessitam serem seguidos para ficar de acordo com a norma, os principais foram extraídos e podem ser vistos a seguir:

- a) Devido ao fato do console receber cargas diretas a partir da célula de carga, a normativa prevê para que quando se obedecer a condição de $3c \leq a_2 \leq 3(c + \varnothing)$, não há necessidade do uso de armadura para impedir fendilhamento no plano horizontal das alças do tirante.
- b) O diâmetro das barras do tirante ancorado por alças não deve ser maior que 1/8 da menor dimensão do console, e não maior que 25mm. Seu espaçamento não pode ser maior que 15 vezes o diâmetro do tirante ou a altura do console.
- c) Toda a armadura do tirante deve-se localizar a um quinto da altura do console próximo a borda tracionada.
- d) A armadura de costura deve respeitar o item 7.3.6 da NBR 9062:2017, onde a mesma estabelece o valor de $(A_s/s)_{cost} \geq 0,4 (A_{sv}/d)$. Seu diâmetro não pode ser maior que 1/15 da menor dimensão do console no engastamento. E seu espaçamento não pode ser maior que 10 cm ou sua largura. O detalhe da armadura de costura pode ser observado na figura 13.

Para os consoles, devem-se adicionar aos cálculos a transmissão de esforços horizontais como sugere a NBR 9062:2017. A mesma descreve que para essas ações horizontais também chamadas de H_d , quando ausente deve-se tomar uma porcentagem do valor das ações vertical (F_d), sendo que elas devem tomar esse valor de acordo com alguns casos específicos que serão citados a seguir:

- a) $H_d = 0,8 F_d$ para juntas a seco;
- b) $H_d = 0,5 F_d$ para elemento assentado com argamassa;
- c) $H_d = 0,16 F_d$ para almofadas com elastômero;
- d) $H_d = 0,08 F_d$ para almofadas revestidas de plástico politetrafluoretileno (PTFE);
- e) $H_d = 0,25 F_d$ para apoios realizados entre chapas metálicas não soldadas;
- f) $H_d = 0,4 F_d$ para apoios realizados entre concreto e chapas metálicas;
- g) Para concretagem no local, ligação por meio de solda ou apoio com graute, é necessário e obrigatório um estudo mais aprofundado e detalhado da força horizontal aplicada na ligação;
- h) Neste item a mesma cita que pode-se utilizar valores diferentes dos apresentados, desde que se justifique e comprove o modelo de cálculo.

2.6.3 Dimensionamento do Modelo Biela Tirante

O presente trabalho tem como instrumento de cálculo o modelo de biela e tirante, devido ao fato de que as dimensões dos consoles utilizados são semelhantes aos empregados na empresa de estudo. Os mesmos se encaixam na dimensão dos consoles curtos.

El Debs (2017) cita que esse modelo busca idealizar a atuação do concreto nos nós, que são trechos onde há descontinuidade através dos tirantes (elementos tracionados) e das escoras (elementos comprimidos). Devido os elementos se conectarem por nós, ele afirma que é possível considerar-se como uma treliça, como pode ser observado na figura 14:

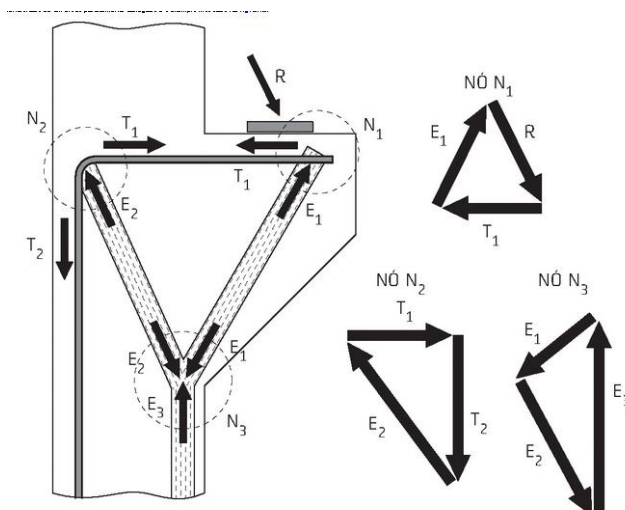


Figura 14 - Modelo de biela tirante.

Fonte: El Debs (2017)

A partir da imagem é possível observar que os trechos que predominam tração são resistidos pela armadura do tirante que a capacidade de resistência se dá em função da área da armadura pela sua tensão de escoamento, já os trechos em compressão, são resistidos pelo concreto aonde se localizam as escoras, sua resistência é limitada pela capacidade resistente do concreto à compressão.

De acordo com El Debs (2017), em geral as cargas aplicadas em consoles em estruturas pré-moldadas são diretas. O esmagamento do concreto depende pouco da área de aplicação da força, quando se considera a base do console como região crítica para as tensões de compressão, mas recomenda-se fixar uma largura da biela para examinar o esmagamento do concreto e a localização do eixo da biela.

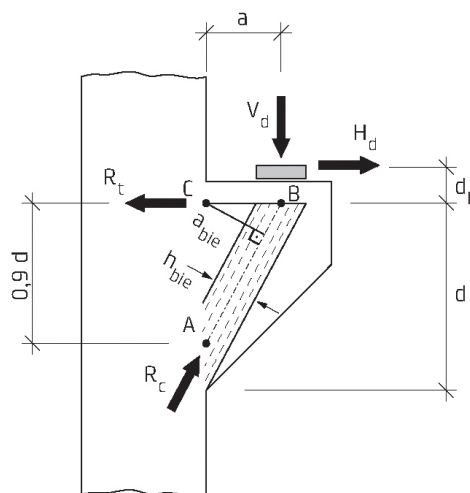


Figura 15 - Modelo para análise de console curto.

Fonte: El Debs (2017)

2.6.4 Biela Comprimida

A partir do modelo da figura 15 podemos começar a análise do método. Primeiramente, para encontrar a tensão de compressão presente na biela comprimida, necessita fazer o cálculo de R_c , que é reação de compressão que atua sobre a biela, calculada através da equação (1):

$$R_c = \frac{V_d + H_d a}{a_{bie}} \quad (1)$$

Onde:

V_d é a força vertical aplicada no console;

a é a distância do ponto de aplicação da carga à face do pilar;

H_d é a força horizontal aplicada no console;

d é a altura útil do console

a_{bie} é a distância de R_c e C, observada acima na figura 6.

A a_{bie} pode ser obtida com a seguinte equação:

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

Substituindo a equação (2) em (1), obtemos a seguinte expressão:

$$R_c = \frac{v_d a + H_d d h}{\frac{0,9da}{\sqrt{(0,9d)^2 + (a)^2}}} \quad (3)$$

Assim podemos obter o valor da tensão da biela (σ_c) pela equação (4)

$$\sigma_c = \frac{R_c}{0,2bd} = \frac{V_d}{bd} \left(1 + \frac{H_d d h}{V_d a}\right) 5,55 \sqrt{(0,9d)^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad (4)$$

Os valores de $H_d d h / V_d a$ para os casos usuais são menores que 0,06, assim conseguimos simplificar a equação (4), tendo agora a tensão de compressão com a equação (5):

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

Colocando-se em termos de tensões de diferença, através da limitação do valor da tensão da biela em βf_{cd} , temos:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{bd} \leq \tau_{wu} \quad (6)$$

Onde:

$$\tau_{wu} = \frac{0,18\beta f_{cd}}{\sqrt{(0,9d)^2 + \left(\frac{a}{d}\right)^2}} = \chi f_{cd} \quad (7)$$

Para verificação da biela comprimida em consoles curtos com o valor de $0,5 < a/d < 1,0$, a NBR 9062:2017 recomenda não ultrapassar o valor de compressão na biela inclinada de:

- a) f_{cd} quando se tem carga direta;
- b) $0,85 f_{cd}$ para carga indireta.

Portanto, como as peças serão sujeitas somente a carga direta, podemos tomar o valor de β igual a 1. Para os casos de console curto, podemos admitir o valor de χ para os dois extremos, como é constatado a seguir:

- a) Quando a relação entre a distância onde a carga irá ser aplicada até a face do pilar e a altura útil do console ou seja a/d , tiver um valor de $0,5$, podemos assumir o valor da tensão tangencial de referência (χ) como sendo $0,175$.
- b) Já para os casos em que a relação da distância e a altura for de $1,0$, o valor de χ pode ser assumido como $0,134$.

Porém, de acordo com El Debs (2017), a verificação da resistência do concreto resulta em diferenças significativas. Tendo bastante divergências na literatura, e não tendo estudos muito conclusivos, é recomendado que ao analisar o esmagamento do concreto, limite-se a tensão de referência com o valor de $0,2f_{cd}$ para os consoles com relação $0,4 < a/d < 1,0$.

Sendo assim, podemos assumir o limite para a tensão convencional de cisalhamento em:

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{bd} \leq 0,2f_{cd} \quad (8)$$

2.6.5 Armadura do Tirante

Para o cálculo da armadura de tirante, a NBR 9062:2017 recomenda utilizar na seção de engastamento a taxa mecânica de cálculo $\omega = \rho \times f_{yk}/f_{ck}$ que deve ser superior ao valor de 0,04 para os consoles com a relação $a/d \leq 2$, onde:

$$\rho = \frac{A_{s,tir}}{bd} \quad (9)$$

E o valor da armadura total do tirante ($A_{s,tir}$) para os consoles curtos é obtido através da equação (10):

$$A_{s,tir} = A_{sv} + \frac{H_d}{f_{yd}} \quad (10)$$

Onde a armadura disposta na vertical (A_{sv}) é obtida através da seguinte equação (11):

$$A_{sv} = \left(0,1 + \frac{a}{d}\right) \frac{F_d}{f_{yd}} \quad (11)$$

El Debs (2017) afirma que existem variadas recomendações para o cálculo da armadura principal (tirante), porém mesmo usando modelos mais sofisticados, a diferença da área da armadura é moderadamente baixa, sendo assim podemos usar vários modelos disponíveis para o cálculo do tirante.

2.6.6 Armadura de costura (ou secundaria)

A NBR 9062:2017, cita que para os consoles curtos o emprego dessa armadura é obrigatório, que é distribuída em 2/3 da altura útil do console, adotando um valor maior ou igual a 40% da armadura vertical. Como podemos ver na equação (12).

$$(A_s/s)_{cost} \geq 0,4 (A_{sv}/d) \quad (12)$$

2.6.7 Armadura transversal

Para a armadura transversal, El Debs (2017) afirma que a mesma pode ser escolhida tomando por base os valores mínimos para vigas, porém deve-se ter uma área de aço maior que de 20% à do tirante, ou seja $0,2A_{s,tir}$.

De acordo com Libanio (2007), a resistência do aço e do concreto nos definem a taxa mínima necessária para armadura transversal. O mesmo dispõe de valores da taxa mínima para facilitação dos cálculos, e é mostrado na figura 16 a seguir:

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

Figura 16 - Tabela da taxa mínima de aço.

Fonte: Libânio (2007)

O mesmo nos fornece o método de cálculo necessário para calcular a taxa mínima ($\rho_{sw,min}$), que pode ser vista na equação (13).

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw}}{s} = \rho_{sw,min} b_w \quad (13)$$

Sendo assim, podemos afirmar que a armadura transversal deve atender os seguintes requisitos mostrados pela equação (14):

$$0,2A_{stir} \leq A_{sw,min} = \rho_{sw,min} b_w \quad (14)$$

Onde, b_w é a largura do console.

2.6.8 – Ancoragem da armadura do tirante

A NBR 6118:2014, nos fornece o comprimento de ancoragem básico (ℓ_b) é dado pela equação (15):

$$\ell_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \geq 25\phi \quad (15)$$

Para o cálculo da ancoragem, deve-se calcular o valor de f_{bd} pela equação (16).

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{cta} \quad (16)$$

Onde os valores de η são:

$\eta_1 = 1,0$ para barras lisas;

$\eta_1 = 1,4$ para barras entalhadas;

$\eta_1 = 2,25$ para barras que possuam nervuras;

$\eta_2 = 1,0$ para situações de aderência;

- $\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência;
 $\eta_3 = 1,0$ para diâmetros da barra (\emptyset) menores que 32mm;
 $\eta_3 = (132-\emptyset) / 100$, para diâmetros maiores que 32mm.

Para o cálculo de f_{ctd} , que é a resistência à tração direta do concreto de cálculo, devemos levar em conta outros parâmetros necessários, sendo eles dispostos na NBR 6118:2014, $f_{ct,m}$ (resistência a tração direta média), e o $f_{ctk,inf}$ (resistência a tração inferior), sendo eles:

- a) $f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$ para concretos até classe C50.
b) $f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$.

Após a obtenção do valor de $f_{ctk,inf}$ podemos então calcular f_{ctd} que é dado pelo equação (17);

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c \quad (17)$$

Onde γ_c é obtido através da tabela 12.4.1, da NBR 6118:2014, pg 71.

Podemos observar a distribuição das armaduras do console com todos seus detalhes a partir da figura 17.

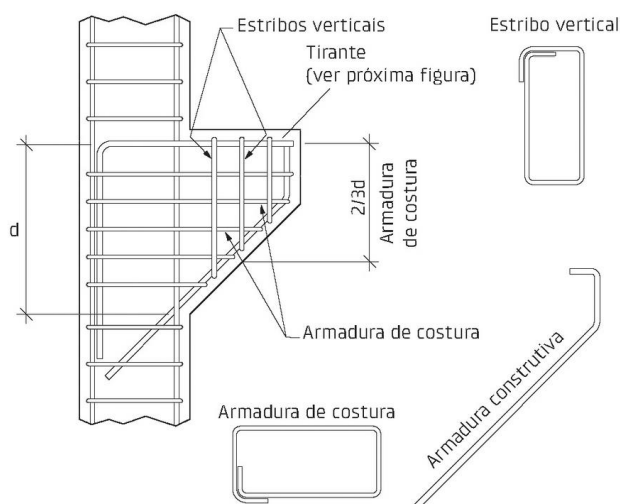


Figura 17 - Distribuição das armaduras de consoles.

Fonte: El Debs (2017)

A armadura construtiva disposta na parte inferior do console não possui grande influência devido ao fato de que o concreto é mais solicitado nessa região, porém ela é uma grande auxiliar na montagem das armaduras do console, facilitando a armação, então buscou-se adotar uma armadura de maneira uniforme em todos os consoles, com um diâmetro igual ao usado na empresa objeto desse estudo.

2.7 MÉTODOS DE ENSAIO

Os estudos quanto ao comportamento dos consoles curtos é pouco observado. Sendo assim há uma limitação na existência de experimentos. Porém, podemos relatar alguns realizados.

2.7.1 Modelo de Naegeli (1988)

O modelo buscou analisar a influência que a força axial aplicada nos pilares fazia na resistência dos consoles. Cabe aqui citar apenas os consoles curtos e seu esquema de aplicação de cargas pode ser visto na figura 18, que no total foram cinco. O autor ainda faz análise em outros corpos de prova, que possuem a relação $a/d < 0,5$, ou seja, consoles muito curtos, que não cabe aqui incluir.

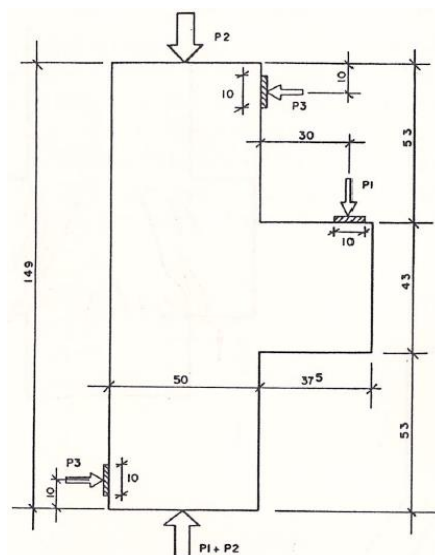


Figura 18 – Dimensões dos protótipos de console curto.

Fonte: Naegeli (1988)

Os protótipos contaram com vários tipos de distribuição de armadura, bem como com bitolas diferentes, a distribuição das mesmas e as bitolas de cada tipo podem ser vistas de acordo com a figura 19 e a figura 20.

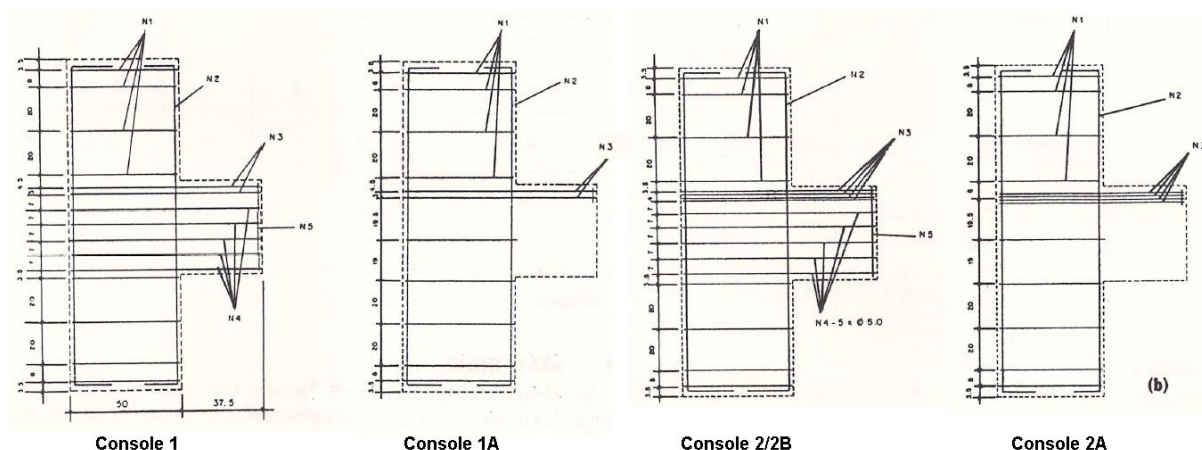


Figura 19 - Esquema de distribuição de armaduras.

Fonte: Adaptado de Naegeli (1988)

| N | Ø | Forma | Console 1 | Console 1A | Consolos 2 e 2B | Console 2A |
|---|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------|
| 1 | 5,0 | | 8 | 9 | 8 | 9 |
| 2 | 12,5 | | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 3 | 8,0 | | 2 | 2 | 4 | 4 |
| 4 | 5,0 | | 5 | - | 5 | - |
| 5 | 4,2 | | 2 | - | 2 | - |
| 6 | 8,0 | | - | - | - | - |
| 7 | 4,2 | | - | - | - | - |
| 8 | 5,0 | | - | - | - | - |

Figura 20 - Indicação das armaduras.

Fonte: Adaptado de Naegeli (1988)

Após a realização dos ensaios, constatou-se que a força aplicada no pilar influencia no aspecto da fissura. A ruptura por flexão aconteceu em 2 dos corpos de prova, sendo eles 1 e 1A como podemos ver na figura devido a reduzida área de aço no tirante. Já nos outros consoles 2, 2B e 2A foi constatado o início da flexão, e após maior carga aplicada, o esmagamento do concreto. Podemos observar os modos de ruptura com a figura 21, onde a mesma apresenta as indicações das forças axiais presente nos pilares juntamente com sua carga aplicada (P), podendo observar principalmente pela figura, os corpos de prova 2 (terceiro pilar) e 2B (último pilar), que são apresentados na mesma a diferença do aspecto apresentado pelas fissuras. A mesma afirma que além da estética das figuras, pode influenciar na resistência dos pilares.

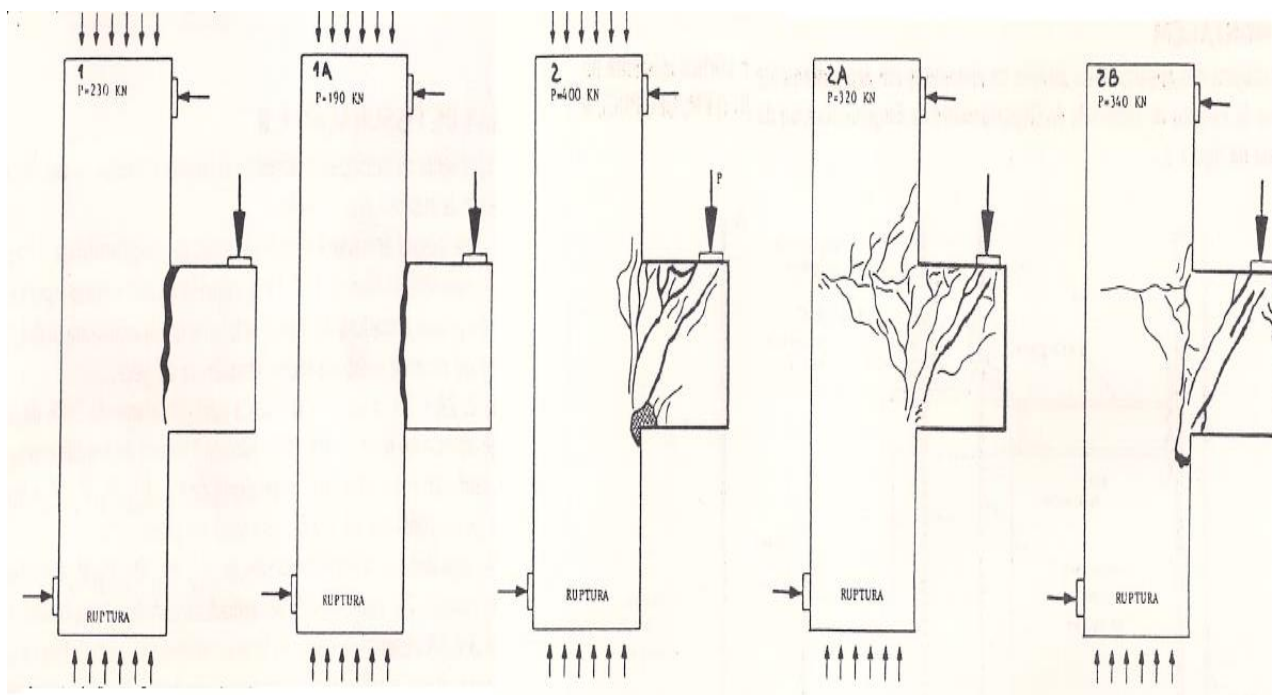


Figura 21 - Modos de ruptura dos consoles.

Fonte: Naegeli (1988)

2.7.2 Modelo de Curty (2009)

Curty (2009) buscou estudar a melhoria dos consoles curtos de concreto, visto que a parcela da biela comprimida é especialmente resistida pelo concreto, buscou-se empregar o uso de fibra de carbono com a intenção de melhorar a sua resistência contra o esmagamento da biela.

Outros ensaios quanto às propriedades mecânicas do aço, concreto, e fibra de carbono foram realizados também, a fim de garantir maior confiabilidade nos testes, porém não iremos adentrar no assunto.

As dimensões dos pilares e dos consoles foram adotadas conforme a figura 22.

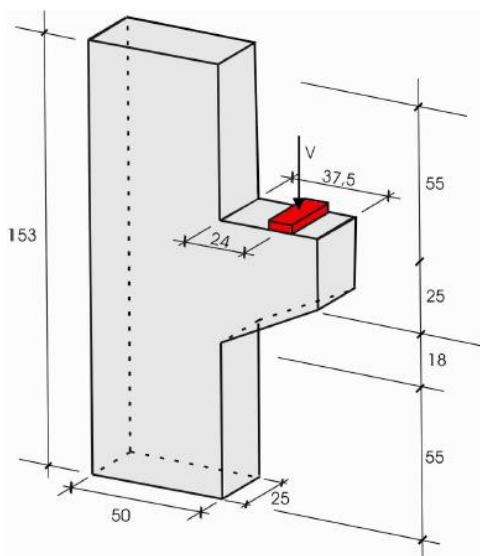


Figura 22 - Dimensões do pilar e dos consoles.

Fonte: Curty (2009)

Com essas dimensões foi possível estabelecer o modelo de console utilizado, para o ensaio. Obteve-se a relação de $a/d = 0,59$, estando entre os limites para classificação de console curto. A distribuição da armadura empregue é mostrada na figura 23.

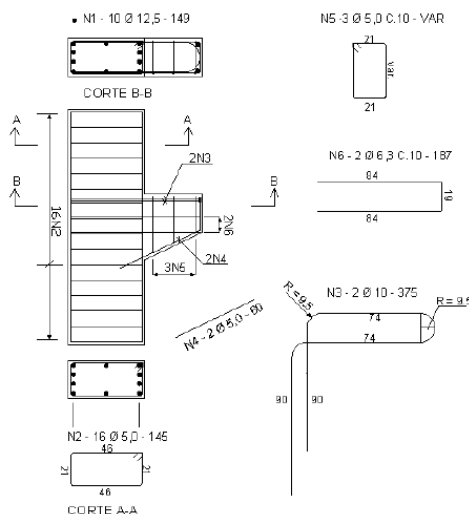


Figura 23 – Distribuição das armaduras.

Fonte: Curty (2009)

Para os ensaios, optou-se por utilizar ferramentas para acompanhar melhor as deformações específicas dos elementos. Nas armaduras fixaram-se extensômetros elétricos para acompanhar a deformação das armaduras, além disso, cada console recebeu rosetas para a medição das deformações do concreto.

Devido a força aplicada para o rompimento dos consoles, optou-se por um esquema conforme a figura 24, que evitasse a rotação do pilar, para assim, obter melhor uniformidade nos ensaios e nos resultados.

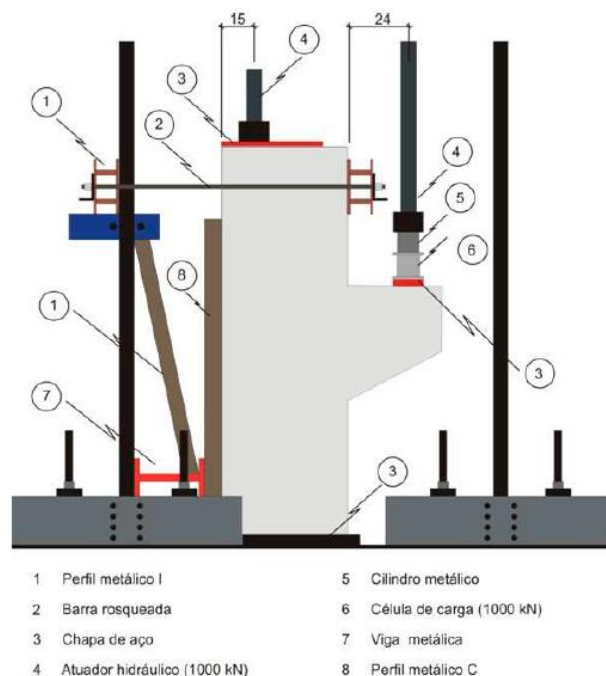


Figura 24 - Esquema de ensaio.

Fonte: Curty (2009)

A partir daí a realização dos ensaios pôde ser efetivada. Para isso, utilizou-se um atuador hidráulico, definido pelo número 4 da figura 24, onde o mesmo possuía uma capacidade de carga de 1000kN. Para a aplicação das cargas, alguns processos foram seguidos para segurança de ensaio, sendo eles:

- Aplicação de uma carga afim de verificar o comportamento do esquema, e também para que o pilar se acomodasse;
- Foi-se incrementando 50kN gradativamente até o limite de 800kN, afim de evitar a rotação do pilar;
- Para os consoles, a carga de 10kN foi aplicada sucessivamente até seu rompimento.

Para a aquisição de dados foi-se usado por equipamentos da NATIONAL INSTRUMENTS, e a aquisição de dados pelo software LABVIEW 8.2. O mesmo procedimento foi realizado para todos os consoles, que depois obteve-se os dados necessários para analisar os resultados obtidos, que de acordo com a mesma, os modos de ruptura foram semelhantes para todos, os consoles, começando com flexão, e após o aumento das cargas observou-se o fendilhamento da biela.

A partir da análise dos resultados, observou que o comportamento dos dois métodos é análogo, possuindo semelhança no seu modo de ruptura. Porém, as peças com emprego de fibras de carbono se mostraram em torno de 20% mais resistentes.

2.7.3 Ensaio Guárez e Basso (2016)

Esse procedimento baseou-se em Curty devido ao método de ensaio através de macaco hidráulico (atuador hidráulico), onde somente foram utilizados o travamento a partir de um macaco hidráulico no topo do pilar, desprezando os outros travamentos existentes no modelo de Curty, e também, eles buscavam testar o método de execução de uma empresa utilizando o Sikadur como ancoragem, para o mesmo foram ensaiados 6 protótipos. Onde 3 desses obedecia a distribuição da armadura da normativa, e os outros 3 foram feitos de acordo com o método da empresa de estudo dos mesmos. As dimensões das peças podem ser observadas pela figura 25.

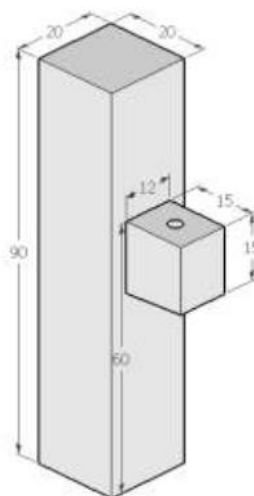


Figura 25 - Dimensões dos protótipos.

Fonte: Guarez e Basso (2016)

Para o método de execução da empresa, os autores citam que o mesmo é realizado após a secagem do concreto do pilar, através da execução de 4 furos com o auxílio de furadeiras, para posterior inserção das armaduras juntamente com uma cola epóxi expansível, e posteriormente a distribuição de estribos, como mostra a figura 26.



Figura 26 - Console semelhante ao utilizado na empresa.

Fonte: Guarez e Basso (2016)

Após a confecção de todos os pilares com as dimensões das armaduras mostradas na figura 27 realizaram os testes a partir do pórtico presente nas instalações da UTFPR – Câmpus Pato Branco.

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

Figura 27 – Tabela de distribuição das armaduras nos consoles.

Fonte: Guarez e Basso (2016)

Os consoles moldados conforme a normativa apresentou melhores resultados quanto sua resistência como podemos observar na figura 28. A ausência da armadura de costura que na norma prevê obrigatório o uso para o caso de consoles curtos, fez com que os consoles utilizados pela empresa sofressem o esmagamento do concreto.

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

Figura 28 - Resultados do método de Guarez e Basso (2016).

Fonte: Guarez e Basso (2016)

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Freitas e Prodanov (2013) dizem que a metodologia é a aplicação de técnicas e procedimentos que buscam estudar, compreender e avaliar os métodos disponíveis para realização de uma pesquisa acadêmica. Ela examina, descreve e avalia os métodos e técnicas, visando a resolução de problemas.

De acordo com Marconi e Lakatos (2003) a metodologia é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais, que procuram ajudar a traçar o caminho a ser seguido para atingir os objetivos propostos. Nem todos os ramos de estudos que empregam tais métodos são ciências, porém toda ciência é definida pelo uso dos métodos.

Segundo Demo (2005) a metodologia é um dos principais instrumentos utilizados para a realização da pesquisa, pode-se dizer que é a união de vários caminhos a serem enfrentados que tem como finalidade relatar a realidade de maneira teórica e prática, concebendo assim a ciência.

Gil (2002, p. 162) cita que “nesta parte, descrevem-se os procedimentos a serem seguidos na realização da pesquisa. Sua organização varia de acordo com as peculiaridades de cada pesquisa”.

Coswell (2007), divide os tipos de pesquisa em três métodos, o quantitativo que tem como função levantar, analisar e interpretar os resultados dos estudos de uma forma quantitativa ou numérica a partir da coleta de amostras, o qualitativo, por sua vez tem os processos similares ao método quantitativo, porém, as coletas das informações são baseadas em textos e imagens, e o método misto, que envolve os dois métodos citados.

O método quantitativo busca a exatidão, favorecendo uma maior facilidade na etapa de análise e interpretação dos dados, buscando quantificar os resultados, isso é possível por possuir um planejamento prévio, suas hipóteses evidentemente especificadas e suas variáveis definidas. (Godoy, 1995).

A partir destas definições acerca dos métodos de pesquisa, podemos classificar o presente trabalho, o mesmo utiliza a coleta de dados numericamente através de experimentos práticos, e informações teóricas através de textos científicos. Podemos afirmar então que é utilizado o método misto, já que o trabalho é realizado de maneira teórica e prática.

3.1 FASES DA PESQUISA

Para desenvolvimento e realização do presente estudo, podemos dividi-lo nos seguintes pontos a serem citados:

- Compreensão e estudo do tema através do referencial bibliográfico;
- Visitas à empresa em questão, para análise e acompanhamento do método empregado para a confecção dos consoles de pilares pré-fabricados;
- Análise dos métodos de confecção dos tipos de consoles segundo a NBR:9062/2017, e o da empresa;
- Produção dos consoles segundo os dois métodos;
- Ensaios experimentais dos protótipos no pórtico estrutural do Laboratório de Estruturas da UTFPR – Câmpus Pato Branco.
- Análise e discussão dos resultados quanto a capacidade de carga, e seus módulos de ruptura;

O trajeto à obtenção dos objetivos propostos pode ser demonstrado através de um diagrama, que facilitará o entendimento das etapas seguidas, conforme a figura 29.

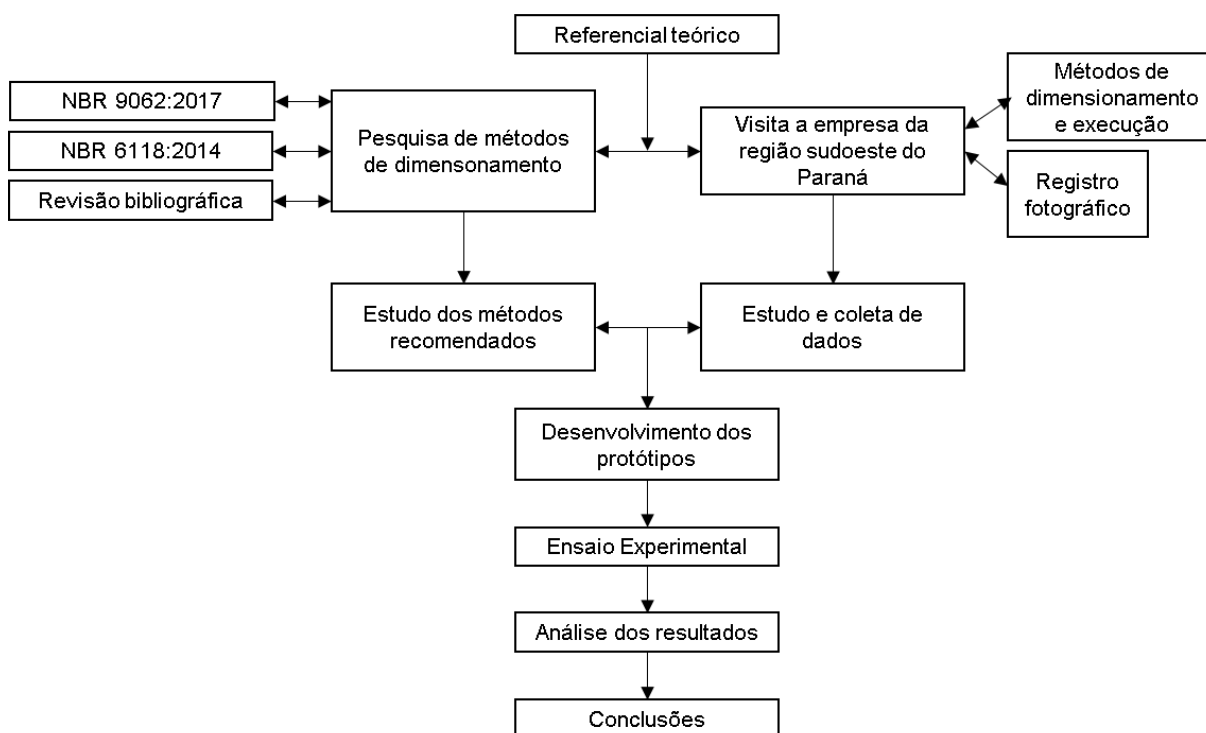


Figura 29 - Diagrama.

Fonte: Autoria Própria (2018)

O diagrama apresentado na figura 28, mostra o caminho a ser seguido para alcançar os objetivos propostos no trabalho. Após os estudos bibliográficos, a pesquisa seguirá dois caminhos, pelo método proposto na NBR:9062:2017, e o método utilizado pela empresa objeto de estudo deste trabalho. O método será concretizado a partir da coleta das informações necessárias para realização de ambos, em seguida serão dimensionados e executados os pilares e consoles monolíticos curtos de pilares pré-moldados. Após a confecção dos mesmos, serão realizados os ensaios com os três tipos de protótipos de consoles, que é viável, já que a universidade dispõe do dispositivo para prática dos testes. Com os resultados obtidos, será possível a análise e comparação dos resultados quanto a capacidade de carga e os módulos de ruptura.

3.2 PROCEDIMENTOS DO EXPERIMENTO

Após realização de estudos bibliográficos, inicia-se então as atividades de campo, que terá por objetivo realizar a execução de nove corpos de prova para testes práticos, sendo três corpos de provas segundo a NBR:9062:2017, outros três utilizando o método alternativo empregado pela empresa localizada na região Sudoeste do Paraná, e ainda outros três com uma solução com maior área de aço distribuída. Como a limitação de transporte e manuseio é complexa, esse é o número mínimo de peças confeccionadas que irão resultar em dados que serão analisados e discutidos posteriormente.

Durante visitas à empresa foi possível identificar, analisando diversos projetos, quais os tipos de consoles eram mais executados, quais cargas mais correntemente apareciam na realização dos projetos e qual era o método de solução que era empregado para tal. Sendo assim, tomadas as medidas do método aplicado pela empresa e realizando então uma pesquisa para a realização dos ensaios experimentais, identificam-se três métodos de ensaio que se aplicam a esse caso, os modelos Naegeli (1988), Curty (2009) e Guarez e Basso (2016).

Como base para o ensaio experimental adotou-se o modelo de ensaio de Guarez e Basso (2016), por ser o mais recente e que apresenta condições de viabilidade para ser executado no laboratório de estruturas da UTFPR Câmpus Pato Branco.

Diversos equipamentos são necessários para a realização destas atividades, onde primordialmente há necessidade de um modelo pórtico capaz de suportar cargas elevadas que serão aplicadas ao console, que conte com um sistema de aplicação da carga, neste experimento representado por um sistema hidráulico de elevada capacidade, conforme figura 30.

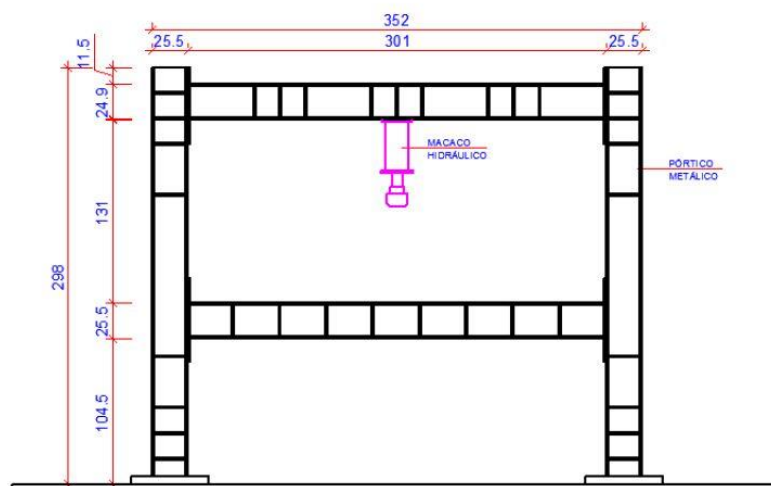


Figura 30 - Pórtico metálico.

Fonte: Adaptado de Guarez e Basso (2016)

Para exata leitura das cargas aplicadas foi utilizada célula de carga HBM U10M, com faixa nominal de medida de 250KN.



Figura 31 - Transdutor de Força HBM U10M

Fonte: HBM (2018)

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



Figura 32 - QuantumX MX840B - Amplificador Universal de 8 Canais

Fonte: HBM (2018)

Para a visualização e tomada de dados foi empregado o software Catman Easy 3.0, que realizou a aquisição de dados do receptor e disponibilizou dados aplicáveis.

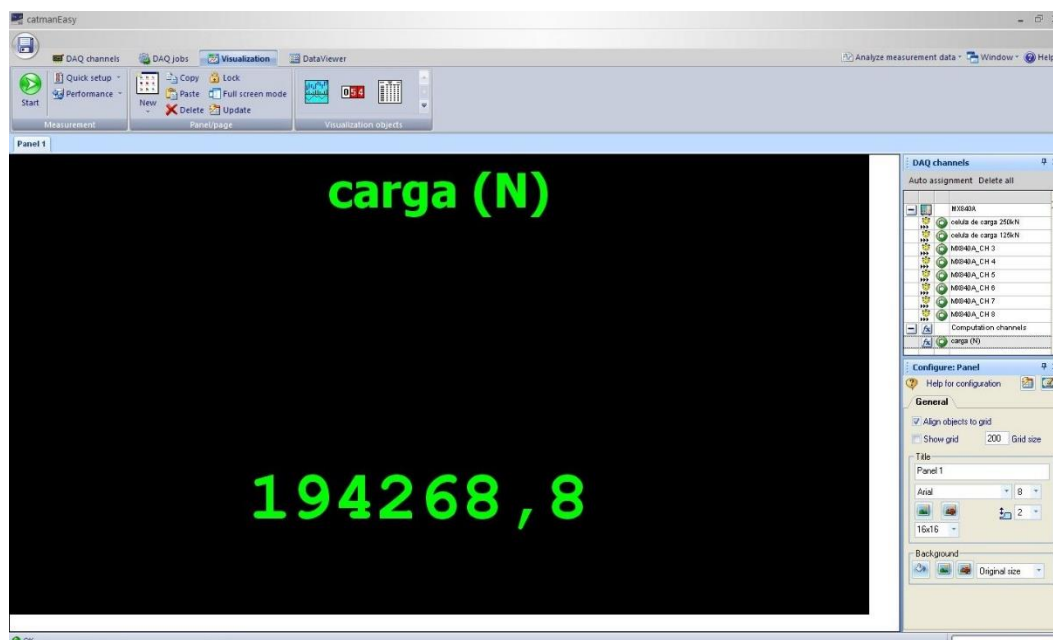


Figura 33 - Interface do software de aquisição de dados.

Fonte: Autoria Própria (2018)

As dimensões dos pilares e posicionamento dos consoles nos mesmos foi obtida através de estudo e análise do pórtico e conjunto hidráulico, juntamente com estudo de casos anteriores que se utilizaram do pórtico para a realização de ensaios.

Este estudo se fez necessário para que o conjunto hidráulico pudesse trabalhar livremente, sem que seu curso final fosse atingido, para que não houvesse a necessidade de realizar diversas adaptações que possibilitassem a realização do experimento.

Assim sendo, adotou-se a seção de 23x23 cm para os pilares, conforme disponibilidade de fôrmas da empresa, e de 20x20x15 cm(CxAxL) para os consoles, onde estas dimensões foram identificadas como sendo as mais comuns utilizadas pela empresa, com capacidade de carga de até 7 toneladas, conforme cálculo presente no Anexo A. Para o pilar, a altura ficou definida em 115 cm, onde esta dimensão possibilitou o acoplamento de um macaco hidráulico no topo, realizando assim o travamento do mesmo no pórtico. Estas dimensões podem ser visualizadas na figura 34.

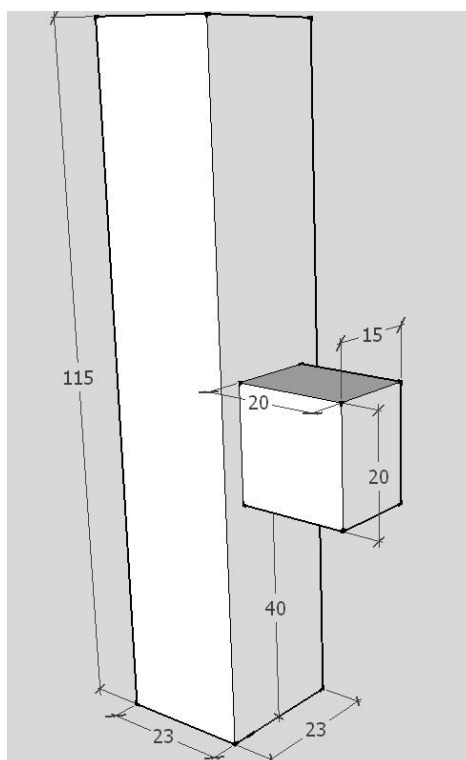


Figura 34 - Dimensões do pilar e do console (em cm).

Fonte: Autoria Própria (2018)

As armaduras presentes nos modelos da empresa podem ser observadas na figura 35, onde para a parte superior, utilizou-se 2 barras de 12,5mm, e na inferior 2 barras de 8mm, para os estribos, foram utilizados 4 barras de 5mm.

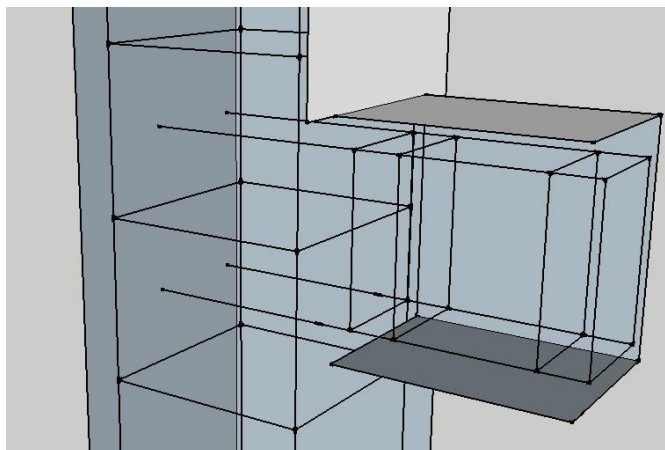


Figura 35 - Detalhamento das armaduras conforme empresa.

Fonte: Autoria Própria (2018)

A solução conforme a NBR 9062:2017 levaram ao arranjo de armaduras mostrado na figura 36:

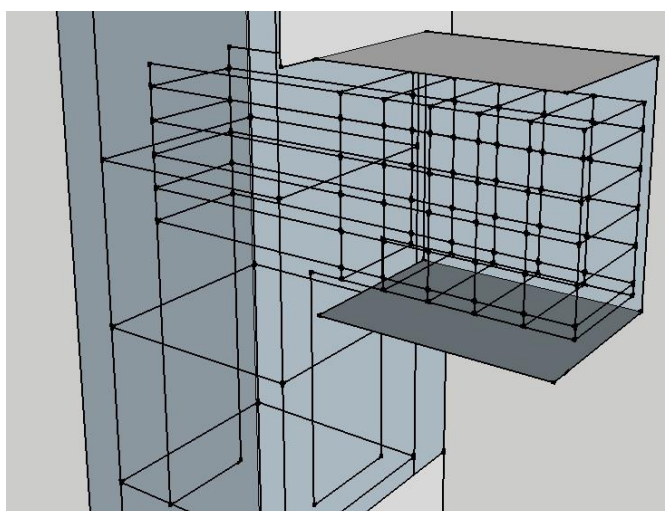


Figura 36 - Detalhe das armaduras conforme NBR 9062:2017.

Fonte: Autoria Própria (2018)

O concreto para moldagem dos corpos de prova foi rodado na empresa, seguindo traço padrão utilizado para pilares, com F_{ck} de 30 MPa. Não será adentrado ao tópico de cálculo do traço e produção do concreto, pois este não é o objetivo deste experimento.

Os pilares foram concretados com uma única betonada, onde os consoles dos seis corpos de prova seguindo o método da empresa foram concretados posteriormente, utilizando-se do mesmo traço de concreto que a empresa utiliza para os consoles.

Para os pilares foi definida uma armadura mínima para o experimento, de modo que os esforços de carregamento possam ser absorvidos pela estrutura e se comportem de maneira idêntica à realidade. A armadura longitudinal do pilar foi definida com 4 barras de 10 mm de diâmetro e os estribos de 5 mm de diâmetro com espaçamento de 15 cm, podendo ser visto o detalhamento da armadura na figura 37.

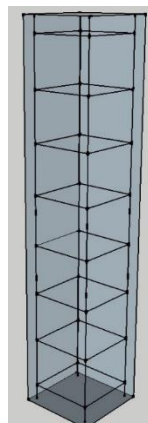


Figura 37 - Detalhe Armadura do Pilar

Fonte: Autoria Própria (2018)

Desta maneira, para os consoles ficou definido que seria seguido o que se coloca na NBR 9062:2017, para uma carga de projeto que abranja a maioria dos projetos dos consoles da empresa, sendo o norte deste estudo de caso, presente no Anexo A. Para esta carga de projeto adotada, a empresa possui um console padrão, que será utilizado nos corpos de prova com o método adotado para sua execução.

Após a definição de todos os pormenores, ficou definido então o esquema definitivo a ser executado no ensaio, conforme Figura 38.



Figura 38 - Esquema de ensaio.

Fonte: Adaptado de Guarez e Basso (2016)

3.3 CIMENTO CP V-ARI

Para os consoles executados pelo método da empresa dos dois modelos, concretados em momento posterior e que utilizaram concreto produzido também pela empresa, não foi possível aguardar até a cura completa do concreto, onde assim não se realizaram os ensaios aos 28 dias, devido a isso optou-se por utilizar o cimento CP V-ARI, pois apresenta uma maior resistência inicial. Desta forma o ensaio foi realizado com 12 dias após a concretagem dos consoles, havendo então a necessidade de verificar qual a resistência do concreto naquela idade.

Para isso a NBR 6118:2014 dispõe no item 12.3.3 b) acerca da resistência de cálculo do concreto, utilizando a expressão a seguir para determinar a porcentagem de resistência do concreto em t dias.

$$\beta = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

Onde:

s = 0,38 para concreto de cimento CPIII e IV;

s = 0,25 para concreto de cimento CPI e II;

s = 0,20 para concreto de cimento CPV-ARI;

t é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

Esta verificação deve ser feita aos t dias, para cargas aplicadas até essa data.

Portanto, realizando os cálculos necessários, podemos determinar o valor de β que segue abaixo:

$$\beta = \exp \left\{ 0,2 \left[1 - \left(\frac{28}{12} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

Portanto, o valor obtido de β é 0,899, demonstrando que o concreto naquela idade já havia garantido cerca de 90% de sua resistência característica.

Como o concreto utilizado tinha resistência característica de 30 Mpa, àquela idade pode-se estimar que o concreto apresentava em teoria 27 MPa de resistência, não interferindo de maneira significativa no resultado dos ensaios.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa que colaborou para o presente estudo de caso trabalha no ramo de pré-fabricados de concreto desde 1993, realizando obras como barracões, estruturas prediais, coberturas metálicas, lajes, entre outros.

No ramo de estruturas pré-moldadas a empresa conta com quadro de 30 funcionários, que executam desde o projeto e fabricação até a montagem das estruturas.

Dentro do quadro de funcionários tem-se um engenheiro, uma arquiteta, dois encarregados da fábrica, pessoal de RH, armadores, operadores de máquinas, soldadores, motoristas, montadores e pessoal de manutenção e limpeza.

Adentrando ao processo produtivo, as equipes se dividem em projeto, confecção de armaduras, montagem e concretagem. Dentro do projeto, engenheiro e arquiteta realizam o lançamento e cálculo visando executar a proposta realizada ao cliente, que após aprovação final, passará a ser produzido. No processo produtivo, os encarregados recebem do engenheiro o projeto, e após breve análise, passam a coordenar o pessoal de cada setor dando início aos processos produtivos. Após confecção de armaduras, limpeza e montagem de fôrmas e posicionamento de armaduras e outros, é realizada então a concretagem das peças, realizada com auxílio de estruturas presentes na fábrica, como central de concreto e ponte rolante. Realizada a concretagem, segue o processo de desforma e posicionamento das peças para que sejam realizados trabalhos de conferência e acabamentos. Durante a etapa de conferência, se algum dos pilares necessitar de realização de estruturas complementares, que é o caso dos consoles, é realizado então o procedimento, que por fim resultará em uma peça pronta para montagem.

4.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE CONSOLE UTILIZADO NA EMPRESA

Normalmente no dia a dia das empresas de pré-fabricados, utilizam-se as normativas estabelecidas para nortear os projetos e a maneira como são produzidas as estruturas de concreto armado, sempre seguindo os padrões que se estabeleceram, para serem atingidos resultados que se espera.

Em alguns casos, não é possível seguir fielmente o que o projeto e as regulamentações exigem, e assim são criadas exceções à regra, que ajudam a dar fluidez e visam acelerar os processos de fabricação.

Sendo assim, na execução de consoles de pré-fabricados, muitas vezes encontram-se dificuldades na execução desta essencial estrutura, dada a recorrente necessidade de modificações no posicionamento destes, levando em consideração as características de cada projeto, como podemos observar na figura 39 onde os consoles apresentam níveis diferentes.



Figura 39 - Consoles com níveis diferentes.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Desta maneira, foram criados métodos alternativos de execução dos consoles, visando ser possível adicionar às estruturas o console posteriormente à concretagem,

sendo que desta maneira, não se faz necessário criar consoles nas fôrmas ou adaptações das mesmas para cada caso.

Este método de execução alternativo será avaliado neste trabalho, onde para cargas de menor magnitude, a empresa realiza a execução dos consoles da seguinte maneira.

Primeiramente, durante a montagem da armadura principal dos pilares, um funcionário realiza a instalação de um volume de isopor no local onde o console deveria estar posicionado conforme figura 40, assim chegando até a fôrma já conferido e pronto para a concretagem.



Figura 40 - Isopor presente no interior do pilar.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Após esta primeira etapa, realiza-se a concretagem do pilar, utilizando-se de concreto característico de projeto.

Em outro período, quando a peça estiver apta para ser movida da fôrma, mas não com a resistência do concreto já elevada, move-se então do local e posiciona-se para que se inicie o procedimento executivo do console. Como podemos observar na figura 41, onde há o rompimento do pilar na região onde está presente o isopor, para posterior encaixe dos consoles.



Figura 41 - Pilar rompido na região do isopor.

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Iniciado o procedimento, remove-se totalmente o isopor do interior da cavidade, juntamente com qualquer concreto que possa estar mal aderido à parte interna do pilar. Feito isso, pode-se então instalar a armadura do console tendo em vista o posicionamento adequado como podemos observar na figura 42.



Figura 42 – Armadura do console posicionada.

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Realizadas as etapas de preparação, instala-se a forma do console e o pino de engaste da viga, para que posteriormente se proceda então a concretagem, com concreto de característica semelhante à do pilar, conforme figura 43.



Figura 43 - Fôrma dos consoles.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Após a concretagem, não se pode aguardar até o outro dia para a remoção do pino, onde o concreto estará muito aderido, e pode causar problemas no console durante a sua remoção. No caso da empresa, normalmente se remove com 30 minutos após a concretagem, onde o concreto já está com boa resistência. O posicionamento do pino pode ser observado a partir da figura 44.



Figura 44 - Pinos presentes na fôrma.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Executados os procedimentos, tem-se então o console pronto para ser utilizado em sua função na estrutura, como podemos ver através da figura 45.



Figura 45 - Console pronto.

Fonte: Autoria Própria (2018)

4.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE EXECUÇÃO DO CONSOLE NBR:9062-2017

Nos projetos de estruturas de engenharia, todo e qualquer projetista deve seguir as normativas estabelecidas para cada área do conhecimento, a fim de respeitá-las e de dar seguridade na execução e acompanhamento das edificações a serem construídas.

No caso de estruturas de concreto pré-fabricados, a norma estabelece como devem ser feitos os cálculos e considerações de projeto para cada caso, levando assim a ter maior segurança estrutural e garantias perante a lei, caso algum problema venha a ocorrer com a estrutura.

Deste modo, para este trabalho foram utilizadas as normas específicas para dimensionamento e execução dos consoles de pilares, tendo assim parâmetros para comparação com o método utilizado pela empresa e lastro para discussões.

Sendo assim, após realizados os cálculos dispostos neste trabalho, realizou-se a confecção e montagem das armaduras do pilar e dos consoles como é observado na figura 46, com conseqüente concretagem, realizada de uma só vez e sem juntas frias, que podem vir a causar problemas estruturais se mal executadas.



Figura 46 - Armadura dos consoles segundo a NBR 9062:2017.

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Executada a concretagem da peça, aguarda-se até o próximo dia para remoção da fôrma, onde assim se encontra pronta para aplicação na estrutura.



Figura 47 - Forma de console triplo.

Fonte: Aatoria Própria (2018)

A partir da figura 47 é possível observar o console posicionado virado para baixo para maior facilidade na concretagem e adensamento da peça.

4.4 DIFERENÇA DE ARMADURA ENTRE OS MÉTODOS

Como visto, o método da empresa apresenta diferente método executivo, se utilizando do isopor para realizar uma posterior concretagem de alguns consoles. Desta maneira, alguns aspectos não podem ser garantidos neste método, como o comprimento de ancoragem das armaduras tracionadas e de construção, juntamente com a execução da armadura de costura, que devido a problemas de compatibilidade no interior da estrutura do pilar não é posicionada. No método 2 da empresa, se distribui a área de aço em maior quantidade de barras ao longo da largura do console, onde este método é mais vezes empregado quando se tem cargas que não poderiam ser suportadas pelo método padrão, não havendo assim a necessidade de elevar as armaduras principais do tirante. Expressa-se na tabela 1 apresentada abaixo as diferenças entre armaduras de cada método.

| ARMADURAS | MÉTODO DA EMPRESA | MÉTODO DA NBR 9062:2017 | MÉTODO DA EMPRESA 2 |
|----------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|
| Armadura tracionada | 2 Ø 12,5 mm | 2 Ø 12,5 mm | 4 Ø 8,0 mm |
| Armadura Construtiva | 2 Ø 8,0 mm | 2 Ø 8,0 mm | 2 Ø 8,0 mm |
| Armadura de costura | Não possui | 5 Ø 6,3 mm | Não possui |
| Armadura Transversal | 4 Ø 5,0 mm | 6 Ø 5,0 mm | 4 Ø 5,0 mm |
| Ancoragem | 20 cm | 42 cm | 20 cm |

Tabela 1 - Armaduras presentes nos consoles.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Analisando a tabela, pode-se verificar que a principal diferença dos métodos em relação à armadura se dá nas armaduras de costura e transversal, onde a empresa opta por não utilizar toda a armadura recomendada pela norma. Faltam estribos transversais, cujos são removidos para o posicionamento do pino no centro do console, e as armaduras de costura são removidas nos dois métodos, aparentemente por motivos construtivos.

Durante a fase de posicionamento da armadura, se faz necessário remover um dos estribos transversais para que seja possível o posicionamento do pino de ancoragem da viga que o console apoia, sendo este o principal motivo da não utilização daquela armadura.

Como mencionado anteriormente, a armadura de costura não é posicionada pois na interface de ligação entre o console e o pilar, pode haver problemas durante a concretagem da peça, sendo um ponto de preocupação dos executores, assim optando pela sua não utilização.

Desta forma, realizando o comparativo experimental dos dois métodos executivos, aplicando o mesmo tipo de armadura principal para ambos, e seguindo o procedimento executivo de cada um, buscam-se respostas a respeito de seus comportamentos, onde os resultados serão apresentados no próximo capítulo.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para que o experimento fosse realizado de maneira a obter resultados satisfatórios, diversos fatores foram analisados e cuidadosamente levados em consideração, para que os dados obtidos fossem fiéis ao que se espera do comportamento real da estrutura.

Durante a execução do experimento, a fixação do pilar na estrutura do pórtico era fator primordial, levando-se em consideração que para simular corretamente o comportamento real do console sendo carregado na estrutura, o pilar não poderia sofrer deslocamentos ou rotações, enquanto também tornaria o experimento inseguro.

Desta forma, o travamento do pilar ao pórtico estrutural se deu através da utilização de um macaco hidráulico, localizado no topo do mesmo, que recebia acréscimos de carga conforme o console era solicitado, assim permanecendo estático e transferindo o efeito que o console recebe na estrutura, isso é exibido na figura 48.



Figura 48 - Esquema de ensaio.

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Sendo assim, o equipamento possibilitou que fossem obtidos os resultados do rompimento de cada uma das peças, assim como os modos de ruptura, e desta maneira transmitir para os que acompanharam o ensaio e estudam este trabalho, as diferenças entre a execução dos dois métodos distintos, nos possibilitando analisar e discutir os seus desempenhos.

5.1 ANÁLISE DO MODO DE RUPTURA

5.1.1 Resultado corpo de prova empresa 1

Durante o carregamento do corpo de prova 1 do método de execução da empresa, se constatou o fendilhamento da biela comprimida, onde a ruptura iniciou-se na região central do console, e acabou se propagando em 45° para as extremidades. Este é o comportamento típico de um console sub-armado, onde principalmente as armaduras transversal e de costura estariam sendo necessitadas.



Figura 49 - Corpo de Prova 1 - Empresa.

Fonte: Aatoria Própria (2018)

5.1.2 Resultado corpo de prova empresa 2

Para o carregamento do corpo de prova 2 do método de execução da empresa também se constatou o fendilhamento da biela comprimida, onde a ruptura iniciou-se na região central do console, havendo deslocamento do concreto de cobertura, se propagando em 45° como no primeiro caso.



Figura 50 - Corpo de Prova 2 – Empresa
Fonte: Autoria Própria (2018)

5.1.3 Resultado corpo de prova empresa 3

Para o caso do corpo de prova 3 do método de execução da empresa também se constatou o fendilhamento da biela comprimida, onde a ruptura se propagou para mais regiões do console, havendo maior fissuração da peça.

Nenhuma fissura foi percebida em outras regiões, somente no console, o que reforça a necessidade de haver mais armadura de costura na execução destas estruturas de ligação.



Figura 51 - Corpo de Prova 3 - Empresa.
Fonte: Autoria Própria (2018)

5.1.4 Resultado corpo de prova Norma 1

Para o carregamento do corpo de prova 1 da norma, também houve o rompimento da biela comprimida, juntamente com início de cisalhamento entre o console e o pilar. Neste caso percebe-se uma distribuição otimizada dos esforços, onde o carregamento foi suportado uniformemente pela peça.



Figura 52 - Corpo de Prova 1 - NBR 9062:2017.

Fonte: Aatoria Própria (2018)

5.1.5 Resultado corpo de prova Norma 2

Para o carregamento do corpo de prova 2 da norma, houve complicações no sentido de que o pilar não se encontrava totalmente nivelado em sua base, impossibilitando que a carga fosse aplicada até a sua ruptura completa. Sendo assim, houve o início da ruptura da biela comprimida juntamente com o pequeno cisalhamento da junção do console com o pilar.

Após certo carregamento, o pilar apresentou instabilidade devido a sua carga não ser distribuída através da seção transversal, havendo então a interrupção do ensaio, embora a carga já estivesse em níveis elevados.



Figura 53 - Corpo de Prova 2 - NBR 9062:2017.

Fonte: Autoria Própria (2018)

5.1.6 Resultado corpo de prova Norma 3

Assim como esperado, o corpo de prova da norma 3 também apresentou o rompimento da biela comprimida, juntamente com início de cisalhamento entre o console e o pilar. Houve também certo deslocamento do concreto de cobertura, ocasionado pela provável excentricidade da carga que agiu no console.



Figura 54 - Corpo de Prova 3 - NBR 9062:2017.

Fonte: Autoria Própria (2018)

5.1.7 Resultado do corpo de prova 1 do método 2 da empresa

Para este corpo de prova, houve um grau mais elevado de rompimento da biela comprimida, onde se apresentaram duas tendências de ruptura, sendo que não se iniciou o rompimento por cisalhamento entre o console e o pilar.



Figura 55 - Corpo de Prova 1 método 2 da empresa.

Fonte: Autoria Própria (2018)

5.1.8 Resultado do corpo de prova 2 do método 2 da empresa

Neste caso o console também apresentou ruptura da biela comprimida, onde uma linha de ruptura governou o comportamento da peça, que não apresentou cisalhamento.



Figura 56 - Corpo de Prova 2 método 2 da empresa.

Fonte: Autoria Própria (2018)

5.1.9 Resultado do corpo de prova 3 do método 2 da empresa

O corpo de prova 3 deste método apresentou problemas de fixação no pórtico estrutural durante a execução do ensaio devido à base do pilar não estar nivelada de maneira a possibilitar o correto decorrer do ensaio, não podendo ser ensaiado de maneira satisfatória, sendo descartado desta análise de ruptura e das etapas posteriores.

5.1.10 Análise Global das Rupturas

Analisando primeiramente os consoles dos métodos da empresa, pode-se perceber que houve uma ruptura mais acentuada, onde a falta de armadura no console ocasionou uma tendência de ruptura da biela comprimida na área onde não há presença de armadura. Desta forma, não houve o início de cisalhamento entre o console e o pilar, que devido ao método de execução do console pela empresa, se utilizando do isopor na concretagem, era uma das variáveis de interesse deste trabalho.

Já na verificação do método executivo da norma, foi possível verificar que a ruptura da biela ocorreu de forma normal, com maior segurança, onde a armadura de costura auxiliou neste resultado. Houve também início de cisalhamento no limite entre o console e o pilar, que se caracterizou por uma trinca transversal, que foi cessada com a ação da armadura do tirante, juntamente com o auxílio da armadura de costura.

Ao final, podemos afirmar que a diferença das armaduras nos métodos executivos faz grande diferença no momento de aplicação dos carregamentos, onde as cargas foram muito elevadas nos consoles da norma quando comparados ao método da empresa, resultados estes que serão apresentados no tópico seguinte.

5.2 ANÁLISE DOS CARREGAMENTOS

Segue apresentado na tabela 2 os resultados dos carregamentos exercidos nos corpos de prova, sendo que o corpo de prova 2 do método da norma não chegou à carga de ruptura, conforme apresentado na seção de modos de ruptura.

Pode-se perceber a grande diferença de carregamento suportado pela estrutura executada segundo o método da norma, em relação ao método da empresa.

| Exemplar | CP1 (KN) | CP2 (KN) | CP3 (KN) |
|-----------|----------|----------|----------|
| Empresa | 59,32 | 56,44 | 58,25 |
| Norma | 162,25 | 135,18* | 194,27 |
| Empresa 2 | 95,88 | 74,33 | - |

*Não houve a ruptura total do exemplar.

Tabela 2 - Resultados dos carregamentos.

Fonte: Autoria Própria (2018)

O Gráfico 1 demonstra a magnitude das cargas suportadas pelos consoles, onde pode-se notar que a resistência dos corpos de prova segundo o método da Norma 9062:2017 em todos os casos superou os corpos de prova executados pelo método da empresa.

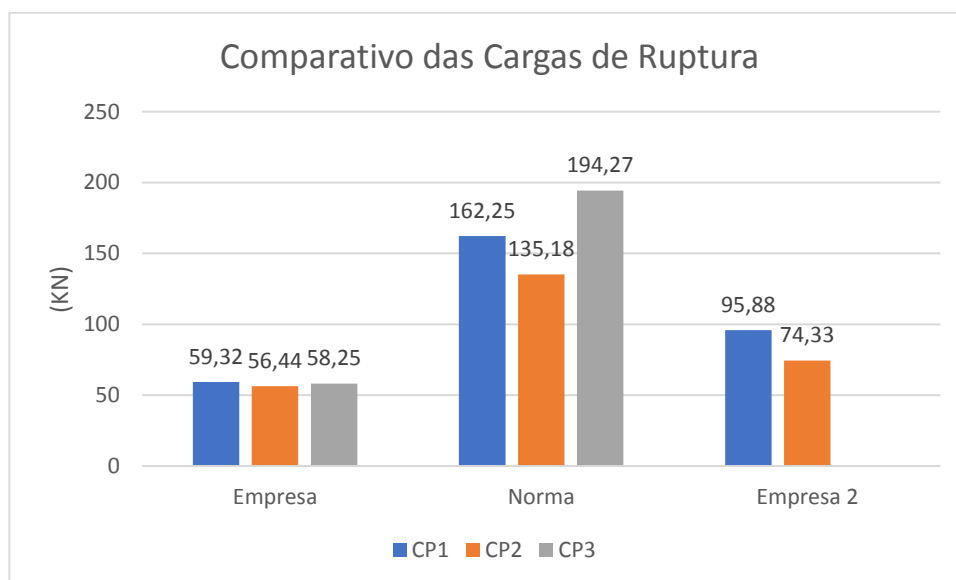


Gráfico 1 - Comparativo das cargas de ruptura.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Nos corpos de prova do método 2 da empresa foram respeitadas áreas de aço recomendadas, porém foram adicionadas mais barras no tirante do que no método convencional, resultando em uma maior distribuição de aço ao longo do console.

Pode-se perceber que essa maior distribuição resultou em uma maior resistência do console, sendo que o concreto utilizado na fabricação foi o mesmo para os dois casos.

Para o caso do corpo de prova 2 do método da norma, que não chegou a haver ruptura, podemos analisar que devido ao não perfeito nivelamento da base do pilar, a carga não pode ser perfeitamente distribuída no console, gerando esforços em

outros pontos desconhecidos da estrutura, e apesar das várias tentativas de chegar à ruptura da peça, isso não foi possível.

Desta maneira, para realizar uma média geral da resistência dos corpos de prova da norma NBR 9062:2017, foi realizada média aritmética das resistências dos corpos de prova 1 e 3, e então substituído ao valor de ruptura do corpo de prova 2, para se obter dados que possam ser analisados com propriedade, que seguem demonstrados na tabela 3.

| Corpos de Prova | EMPRESA(KN) | NORMA (KN) | EMPRESA 2(KN) |
|------------------|-------------|------------|---------------|
| Média das Cargas | 58,00 | 178,26 | 85,11 |

Tabela 3 - Média das cargas dos corpos de prova.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Analisando os resultados, vemos que apesar de todos os corpos de prova terem sido executados da mesma forma, ensaiados da mesma maneira e com as mesmas dimensões, se evidencia que há a necessidade de se respeitar o uso e posicionamento das armaduras durante a execução das peças, pois esta variante governou o comportamento geral dos experimentos.

Do ponto de vista da ligação do console no pilar, não foi possível determinar se o método executivo da empresa, que se utiliza do isopor para a posterior concretagem do console, leva a algum problema de junta de concretagem onde na análise dos modos de ruptura não houve indício de fissuras nesta região.

Na análise dos corpos de prova do método 2 da empresa, onde a armadura foi mais distribuída ao longo do tirante, houve maior carga de ruptura do que no método 1 convencional, sendo que também não houve fissuras da região de ligação entre console e pilar, o que indica que apesar de uma maior carga de ruptura, este método executivo não apresenta maiores problemas.

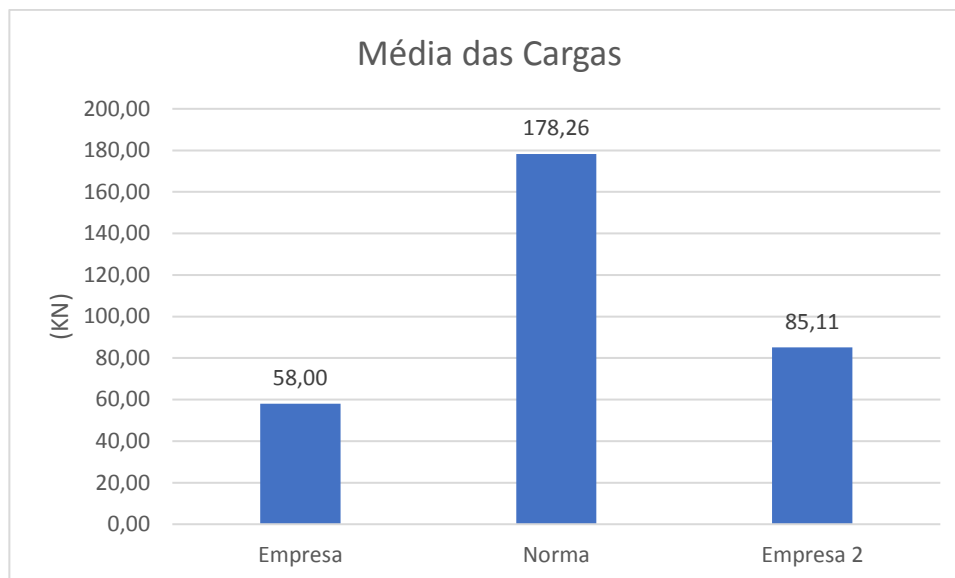


Gráfico 2 - Média das Cargas.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Percebe-se analisando o gráfico 2 que a resistência média dos consoles da norma NBR 9062:2017 ficou mais de três vezes maior que a média dos consoles executados pelo método 1 da empresa, em números, 207% acima da carga de ruptura.

Este dado nos leva a crer que, apesar de o console não estar totalmente curado, a carga de projeto de 70 KN não será suportada pela estrutura de ligação, havendo a necessidade de se executar console conforme a norma exige do projetista, que apresenta muito mais segurança para a obra e deixa todos tranquilos em relação à segurança da edificação.

Em relação ao método dois da empresa, a resistência do corpo de prova da norma NBR 9062:2017 ficou mais de duas vezes maior que o corpo de prova deste método, sendo que quando comparado com o método de execução 1 da empresa, a diferença de resistência foi de 46,7% em média, indicando que há melhor distribuição dos esforços no caso onde as armaduras são mais bem distribuídas ao longo da estrutura.

Para analisar as dificuldades de execução dos três métodos, dividimos em três pontos importantes que são seguidos na fabricação destas peças para uma melhor abordagem do contexto geral, onde a montagem da armadura foi um fator, método de concretagem outro e o terceiro foi a quantidade de armadura utilizada, cada um com uma graduação de 1 a 5, sendo 1 muito fácil e 5 muito difícil, expressos na tabela 4.

| Análise da dificuldade de execução | | | | |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------|
| | Montagem da Armadura | Método de Concretagem | Armadura Utilizada | Dificuldade |
| Empresa | II | III | I | II |
| Norma | IV | I | III | III |
| Empresa 2 | III | III | II | III |

Tabela 4 - Análise de dificuldade de execução.

Fonte: Autoria Própria (2018)

Analisando de forma geral e para a execução de um console, o método da empresa ainda é o mais fácil de ser executado, porém sendo insuficiente em relação à segurança estrutural. A montagem da armadura deste método é o mais simples, sendo que a concretagem demanda tempo e atenção do executor, para que não existam problemas. O método de montagem das armaduras no corpo de prova da norma 9062:2017 demanda tempo e atenção, mas com a prática adquirida com o tempo pode vir a ser mais facilmente executado, onde o método de concretagem é executado de maneira tranquila e simples. Já o método dois da empresa recebe uma pequena quantidade a mais de armadura, sendo que a dificuldade de concretagem segue o método da empresa.

O método da norma NBR 9062:2017 utiliza 2,20 quilogramas a mais de aço em relação ao método da empresa em sua execução, necessitam de formas adequadas a cada projeto e maior atenção em sua execução, sendo que todos estes fatores encarecem o processo produtivo, sendo assim alvo de adaptações dos executores, porém ao final todos estes cuidados se convertem em segurança estrutural, que é de extrema importância para todos os envolvidos nestes projetos, e não devem ser esquecidos e deixados de lado, as normas devem ser seguidas e utilizadas em toda a sua extensão, levando assim a garantir que os projetistas estarão realizando o que se pede dentro do limite do possível.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise teórica e experimental de consoles monolíticos curtos de pilares pré-moldados, comparando o método de fabricação de uma empresa localizada em Pato Branco – PR com o método definido pela NBR 9062:20017, realizando a produção de corpos de prova fiéis aos produzidos comercialmente e executando ensaios que reproduzem o comportamento da maior exigência quando em utilização na estrutura.

Nos últimos tempos alguns estudos de caso vem sendo realizados para entenderem e comprovarem o comportamento dos consoles curtos nas estruturas, assim possibilitando uma análise mais aprofundada do que ocorre diariamente nas fábricas por todo o Brasil. Estes tipos de estrutura sofrem diversas adaptações e modificações em cada caso onde são aplicados, e assim devem ser analisados para que possam dar maior grau de confiabilidade aos projetistas e executores que assim optam por construir.

Para a realização deste estudo foi necessária a colaboração de uma empresa que há muitos anos trabalha com este tipo de construção, e que nunca apresentou problemas nas estruturas que executou ao longo dos anos, mesmo sem ter perfeita comprovação do método executivo de que faz uso. A empresa colaborou delimitando o tipo de carregamento que mais utilizava daquele método de console que executava, dando as diretrizes executivas do console e auxiliando na produção das peças, com fôrmas e concreto de uso diário.

A viabilidade prática do experimento se deu por utilizar o pórtico estrutural presente na universidade, onde após a análise de trabalhos anteriores a este, foi possível definir as dimensões que seriam compatíveis com a estrutura e então realizar a produção das peças em escala real.

Realizados os ensaios podemos definir que as empresas fazem uso destas soluções alternativas pois a dificuldade de execução das armaduras segundo a norma NBR 9062:2017 é real, e foi comprovada na realização deste trabalho, onde se demora muito mais tempo para executar a montagem e posicionamento do console, se exige a produção de fôrmas para cada pilar diferente do usual, porém o produto final é de extrema confiabilidade.

Comparando os resultados obtidos, foi possível perceber que há grande diferença de resistência entre os três métodos executados, onde as peças com dimensões idênticas, mesmo material utilizado e somente diferentes armaduras apresentaram grande variação de carregamento de ruptura, onde o método da norma NBR 9062:2017 suportou em relação ao método da empresa 207% maior carga, e o método 2 da empresa com mais armadura distribuída suportou 46,7% maior carga que o método 1 aplicado pela empresa, assim evidenciando a necessidade de armaduras complementares.

Na análise de ruptura, todos os consoles apresentaram ruptura por fendilhamento da biela, que ocorre quando há falta de resistência no concreto utilizado. No método de execução da empresa, houve o fendilhamento de uma forma ainda mais acentuada, devido à falta de armadura de costura no console. Foi possível verificar que a carga de ruptura do modelo da norma NBR9062:2017 foi muito superior à carga de cálculo havendo assim grande margem de segurança neste método executivo. Já o método da empresa não resistiu à carga de cálculo, podendo este resultado ser devido à resistência baixa do concreto aliada à falta de armadura, necessitando a realização de análises mais aprofundadas deste comportamento.

Outro fator de interesse nos ensaios se dava em analisar o comportamento da junta de concretagem executada entre o pilar e o console, que resistiu e sequer apresentou problemas nos corpos de prova ensaiados pelo método da empresa, assim evidenciando que a solução da empresa funciona no método executivo, havendo a necessidade de adição de armadura que ajudará na resistência quando em carregamento.

Sendo assim, vale lembrar que diversas empresas fazem uso deste tipo de solução executiva, sem ter havido problemas anteriores mesmo com a falta de análise prévia, o que viabilizou os trabalhos das mesmas por muitos anos. É de interesse de todos a melhoria dos métodos executivos para que agilizem o processo de produção e barateie os custos, mas sempre trabalhando com segurança a fim de zelar pelo futuro e trazer ganhos para a sociedade.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para os próximos trabalhos, vários pontos podem ser analisados na execução dos consoles, como a produção de consoles super-resistentes com concreto de alto desempenho ou com fibras de aço para que se verifique a ligação com o pilar de outras maneiras, adicionando as armaduras de costura e estribos adequados e uma nova rodada de ensaios com pelo menos quatro corpos de prova para verificar se com esta armadura de reforço haverá alguma complicação na junta de concretagem, consoles com áreas de aço mais bem distribuídas para uma análise de comportamento, e ainda a resistência do console na presença do pino de ligação ou outro tipo de vinculação entre a viga e o pilar.

Necessita-se também ter especial atenção com o nivelamento da base e topo das estruturas para que os protótipos possam receber o carregamento e redistribuí-los de maneira ideal, facilitando assim a realização dos ensaios e melhorando a obtenção de resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062** – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

BERTOLI, Rafael de Camargo. **Concreto Pré-Moldado Execução de Vigas e Pilares**. Itatiba, 2007.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado**: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 2. ed. Brasília, DF: Ed. da UnB; c2005. 410 p.

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

DEMO, Pedro. **Introdução à Metodologia da Ciência**. São Paulo: Atlas S.A, 2003.

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

FERREIRA, Marcelo de Araujo. **Deformabilidade de Ligações Viga-Pilar de Concreto Pré-Moldado**. Tese de Doutorado. São Carlos, 1999.

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

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

GUAREZ, Moisés; BASSO, Wyllian Sérgio. **Análise teórica e experimental do comportamento de consoles monolíticos curtos de pilares pré-moldados considerando a norma NBR 9062:2006 e um método alternativo**. Pato Branco, 2016.

HBM. Disponível em: < <http://www.hbm.com/pt/>>. Acesso em Junho de 2018.

LIBANIO, M. Pinheiro. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos, 2007.

MAMEDE, Fabiana Cristina. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. 2001. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MARCONI, Marina Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. Ed. São Paulo, 2003.

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

NÓBREGA, P. G. B. **Análise dinâmica de estruturas de concreto – estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas**. Tese de Doutorado, São Carlos, 2004.

PINTO, José Carlos Costa Cerqueira. **Análise Comparativa da Execução de Obra de Edificação Utilizando Estrutura de Concreto Pré-Fabricada**. Rio de Janeiro, 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e o Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo, 2013.

VASCONCELOS, Augusto Carlos. **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. Vol. 3. Studio Nobel. São Paulo, 2002.

ANEXO A

Dimensionamento dos consoles com o método de bielas e tirantes de acordo com a NBR 9062:2017.

Para os cálculos, uniformizou-se as dimensões dos pilares e consoles de acordo com a dimensões da empresa para obter um resultado mais confiável, para os cálculos, utilizou-se a classe de agressividade como I de acordo com a tabela 6.1 da NBR 6118:2014 pg. 18, tendo em vista que o risco de deterioração é baixo por se tratar de testes laboratoriais. Assim é necessário adotar um concreto de $C \geq 25$. Portanto os parâmetros adotados para os cálculos foram:

- $F_d = 7,0$ tf;
- Pilar 23x23cm;
- Concreto C30;
- $c = 2,5$ cm (cobrimento);
- Distância de aplicação de carga (a) = 10cm;
- Altura do console (h) = 20cm;
- Largura do console (b) = 15cm;
- Considerou-se nos cálculos a utilização de Neoprene (elastômero) para distribuição dos esforços.

De acordo com o roteiro de cálculo visto na revisão bibliográfica do presente trabalho, foi possível a realização dos cálculos das armaduras necessárias para a confecção dos consoles.

Primeiro é necessário estimar um diâmetro para os estribos e para a armadura principal (tirante). Então, buscou-se adotar os utilizados pela empresa, sendo que para os estribos utilizou-se o diâmetro inicial de 5mm, e para os tirantes o diâmetro de 12,5mm.

a) Altura útil do console

$$d_h = 23 + \frac{12,5}{2} + 5 = 31,25 \text{mm}$$

$$d = h - d_h = 200 - 34,25 = 165,75$$

Portanto:

$$\frac{a}{d} = \frac{100}{165,75} = 0,60$$

→ CONSOLE CURTO!

b) Tensão na biela

$$T_{wd} = \frac{7 \times 10^4}{200 \times 165,75} = 2,11 \text{ MPa}$$

Temos que:

$$T_{wd} \leq 0,2f_{cd}$$

Portanto:

$$2,11 \text{ MPa} \leq 0,2 * \frac{30}{1,4} = 4,28 \text{ MPa}$$

$$2,11 \leq 4,28, \text{ OK!}$$

A biela irá resistir.

c) Armadura do Tirante

Para obtenção do valor da armadura principal, primeiramente deve-se calcular a taxa de aço da armadura vertical.

$$Hd = 0,16 \times 7 \times 10^4 = 1,12 \text{ tf}$$

$$A_{sv} = \left(0,1 + \frac{10}{163,75}\right) \frac{7 \times 10^4}{\frac{500}{1,15}} = 112,7 \text{ mm}^2 \rightarrow 1,13 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,tir} = 112,7 + \frac{1,12 \times 10^4}{\frac{500}{1,15}} = 138,46 \text{ mm}^2 \rightarrow 1,39 \text{ cm}^2$$

Adotado 2Ø12,5mm -> 2,50cm²

d) Armadura transversal

$$0,2A_{stir} \leq A_{sw,min} = \rho_{sw,min} b_w$$

Conforme tabela apresentada no referencial teórico, conseguimos obter o valor de taxa de armadura mínima para as vigas.

$$0,2 \times 1,39 \leq A_{sw,min} = 0,1159 \times 15$$

$$0,278 \leq 1,74$$

Portanto, adotou-se a área dos estribos de 1,74cm², para satisfazer a área de aço optou-se por utilizar 6Ø6,3 c/ 3,3cm, com uma área de 1,89cm².

e) Armadura de costura

$$(A_s/s)_{cost} \geq 0,4 (A_{sv}/d)$$

$$(A_s/s)_{cost} \geq 0,4 \times 1,74 = 0,70 \text{ cm}^2$$

Portando, adotou-se 5Ø5mm c/ 3cm, totalizando uma área de aço de 1cm².

f) Comprimento de ancoragem

O comprimento de ancoragem da armadura principal é calculado de acordo com a norma NBR 6118:2014, onde a mesma nos apresenta o seguinte método de cálculo para obtenção do valor da ancoragem necessária.

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \geq 25\phi$$

O cálculo de f_{bd} necessita de alguns parâmetros, que os mesmos podem ser vistos a seguir:

Força de tração direta media:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 \times 30^{2/3} = 2,90$$

Força de tração característica inferior:

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \times 2,90 = 2,03$$

Força de tração característica de cálculo:

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

$$f_{ctd} = \frac{2,03}{1,4} = 1,45$$

Para então obter o valor de f_{bd} , o mesmo é dado por:

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd}$$

Onde:

$\eta_1 = 2,25$ para barras que possuam nervuras;

$\eta_2 = 1,0$ para situações de boa aderência;

$\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência;

$\eta_3 = 1,0$ para diâmetros da barra (ϕ) menores que 32mm;

$\eta_3 = (132 - \phi) / 100$, para diâmetros maiores que 32mm.

$$f_{bd} = 2,25 \times 1 \times 1 \times 1,45 = 3,2625$$

$$\text{Então: } l_b = \frac{12,5}{4} \frac{\frac{500}{1,15}}{3,2624} \geq 25 \times 12,5$$

$$l_b = 415 \text{ mm} \geq 312,5 \text{ mm}$$

Então, adotou-se o comprimento de ancoragem de 42cm.

g) A armadura construtiva

No método de bielas e tirantes, não é necessária a utilização de tal armadura, visto que na parte inferior onde predominam esforços de compressão, a resistência é especialmente garantida pelo concreto. Porém, é uma grande auxiliar na montagem das armaduras, facilitando o processo, dando assim uma melhor produtividade.

Então, optou-se por utilizar armadura semelhante à empregue na empresa objeto do presente estudo, assim uniformizando as armaduras presentes em todos os consoles.