

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

**GUILHERME THIESSEN MARCONDES**  
**VITOR MIRANDA BUENO**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E**  
**ENRIJECIMENTO DE LIGAÇÕES NA INDÚSTRIA DE PRÉ-**  
**FABRICADOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2021**

**GUILHERME THIESSEN MARCONDES**

**VITOR MIRANDA BUENO**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E  
ENRIJECIMENTO DE LIGAÇÕES NA INDÚSTRIA DE PRÉ-FABRICADOS**

**Nutzungsstudie zur Verwendung des selbstverdichtender Beton und der  
Betonfertigteile Verbindungen Verhärtung in den Fertigteilwerke**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Arthur Medeiros

**CURITIBA**

**2021**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E  
ENRIJECIMENTO DE LIGAÇÕES NA INDÚSTRIA DE PRÉ-  
FABRICADOS**

Por

GUILHERME THIESSEN MARCONDES

VITOR MIRANDA BUENO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado no segundo semestre de 2020, pela seguinte banca de avaliação presente:

---

Orientador – Arthur Medeiros, Dr.  
UTFPR

---

Silvana Weber, Dra.  
UTFPR

---

César Augusto Casagrande, Dr.  
UFPE

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

## RESUMO

MARCONDES, Guilherme. BUENO, Vitor. **Estudo da utilização do concreto autoadensável e enrijecimento de ligações na indústria de pré-fabricados.** 2021. 42. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

Considerando o constante aumento da utilização de estruturas pré-fabricadas, nota-se uma crescente demanda do aprimoramento tecnológico desse tipo de construção. Para suprir essa necessidade destacam-se dois métodos, a utilização do concreto autoadensável e o enrijecimento de ligações, os quais viabilizam a produção de estruturas ousadas e melhoram o rendimento das fábricas. O objetivo do estudo é fazer uma análise sobre a utilização dessas técnicas em dez fábricas brasileiras nos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, para entender os motivos que as levaram a recorrer a esses tipos de soluções, analisando uma série de pontos da produção, passando pelo transporte até chegar na montagem final. Para tanto, procedeu-se ao preparo de um questionário com perguntas pertinentes ao assunto, o qual foi respondido por cada uma das dez empresas participantes e posteriormente foi analisado para verificação dos motivos na prática que levaram a tal decisão. Desse modo, pode-se observar que hoje a utilização do concreto autoadensável é importante na indústria brasileira e aplicado por grande parte dessas empresas, já o enrijecimento de ligações também é utilizado, mas não em larga escala, apenas para viabilizar estruturas mais complexas, projetadas e planejadas para obras específicas.

**Palavras-chave:** Concreto. Pré-fabricado. Autoadensável. Enrijecimento de Ligação.

## ZUSAMMENFASSUNG

MARCONDES, Guilherme. BUENO, Vitor. **Nutzungsstudie zur Verwendung des selbstverdichtender Beton und der Betonfertigteile Verbindungen Verhärtung in den Fertigteilwerke.** 2021. 42. Bachelorarbeit (Bachelor-Studiengang Bauingenieurwesen) - Technologische Bundesuniversität - Paraná. Curitiba, 2021.

Berücksichtigen die ständige Zunahme der Betonfertigteilbau Benutzung, merken sich einem Nachfrage nach einer weiterer Technologischer Vervollkommnung in dieser Art von Konstruktion. Um diese Notwendigkeit zu erfüllen, hervorheben zwei Methoden: der selbstverdichtender Beton - SVB und Betonfertigteile Verbindungen Verhärtung Gebrauch, das ermöglichen die Herstellung von wagemutigen Gebäude und verbessern die Werkleistungen. Dieses Studium Ziel ist zu analysieren über die Benutzung von diesen Techniken an zehn brasilianische Fertigteilwerke zwischen die São Paulo, Paraná und Santa Catarina Bundesstaaten, so kann Man ein Verstand über den Anlass für diesen Lösungen zu benutzen haben. Deshalb war einen Fragebogen mit bedeutenden Fragen zur dieser Angelegenheit gemacht, der war bei jedem der Unternehmen beantwortet und später analysiert zu feststellt dem praktischen Grund das führte zu diese Entscheidung. Auf diese Weise ist es möglich zu beobachten dass der SVB wichtig für den brasilianische Fertigteilwerke ist, während der Verhärtung der Betonfertigteile Verbindungen ist nur gebraucht zu ermöglichen der Bau von komplizierter Strukturen.

**Schlüsselwörter:** Beton. Fertigteil. selbstverdichtend. Verbindungen Verhärtung.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fachadas de painéis arquitetônicos do edifício Blue Tree Towers .....	15
Figura 2 - Pilares engastados na fundação e vigas articuladas .....	15
Figura 3 - Pilares engastados na fundação e ligações viga-pilar rígidas .....	16
Figura 4 - Pilares da altura do pavimento formando ligação viga-pilar em "T" ....	16
Figura 5 - Bloco de ancoragem da ponte Akashi Kaikyo.....	23
Figura 6 - Estrutura armada para moldagem da viga .....	24
Figura 7 - Ligações viga-pilar articuladas.....	26
Figura 8 - Ligações viga-viga sobre pilar semirrígidas .....	27
Figura 9 - Ligações viga-pilar rígidas com solda .....	27
Equação 1 - Fator de restrição para cálculo de rigidez .....	28

## LISTA DE QUADROS E GRÁFICOS

Quadro 1 – Classificação das ligações em estruturas pré-moldadas.....	29
Quadro 2 – Modelo do questionário aplicado.....	31
Quadro 3 – Empresa 1 – Questionário respondido em 2020 .....	34
Quadro 4 – Empresa 3 – Questionário respondido em 2020 .....	35
Quadro 5 – Empresa 5 – Questionário respondido em 2020 .....	35
Quadro 6 – Empresa 2 – Questionário respondido em 2020 .....	35
Quadro 7 – Empresa 4 – Questionário respondido em 2020 .....	36
Quadro 8 – Empresa 6 – Questionário respondido em 2020 .....	36
Quadro 9 – Empresa 9 – Questionário respondido em 2020 .....	36
Quadro 10 – Empresa 8 – Questionário respondido em 2020 .....	37
Quadro 11 – Empresa 7 – Questionário respondido em 2021 .....	37
Quadro 12 – Empresa 10 – Questionário respondido em 2020 .....	38
Gráfico 1 – Uso de concreto autoadensável nas empresas.....	38
Gráfico 2 – Uso de enrijecimento de ligações nas empresas .....	38
Gráfico 3 – Uso de emenda de pilar nas empresas .....	39
Gráfico 4 – Motivo do uso de concreto autoadensável .....	39
Gráfico 5 – Motivo do uso de enrijecimento de ligações .....	40
Gráfico 6 – Motivo do uso de emenda de pilar.....	40

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
EUA	Estados Unidos da América
PCI	Precast and Prestressed Concrete Institute
EPG	European Project Group
SCCEPG	Self-Compacting Concrete European Project Group
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
CEB	Comité Euro-International du Béton
FIB	Fédération Internationale du Béton
USP	Universidade de São Paulo
ISO	International Organization for Standardization

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	11
1.1.1 Objetivo Geral .....	11
1.1.2 Objetivos Específicos .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 CONCRETO PRÉ-FABRICADO .....	13
2.1.1 Definição .....	13
2.1.2 Utilização .....	14
2.1.3 Vantagens e desvantagens .....	16
2.2 CONCRETO AUTOADENSÁVEL .....	20
2.2.1 Definição .....	20
2.2.2 Vantagens .....	21
2.2.3 Aplicações .....	22
2.2.4 Diferenças de operação e procedimentos em fábrica .....	24
2.3 ENRIJECIMENTO DE LIGAÇÕES .....	25
2.3.1 Definição .....	25
2.3.2 Dimensionamento e utilização .....	28
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
3.1 QUESTIONAMENTO AS EMPRESAS .....	31
3.2 APLICAÇÃO DA PESQUISA .....	32
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
4.1 EMPRESAS DO PARANÁ .....	33
4.2 EMPRESAS DE SANTA CATARINA .....	36
4.3 EMPRESAS DE SÃO PAULO .....	37
4.4 COMPILAÇÃO DOS DADOS .....	38
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
5.1 UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL .....	41
5.2 UTILIZAÇÃO DO ENRIJECIMENTO DE LIGAÇÃO E EMENDA DE PILAR .....	42
5.3 CENÁRIO ATUAL E EXPECTATIVA PARA O FUTURO .....	42
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Estruturas pré-fabricadas de concreto são compostas por elementos estruturais previamente produzidos e moldados em fábrica, de modo a atingir um grau de resistência antes da sua locação definitiva, dando preferência para a repetição das peças. Suas diretrizes e critérios de projeto, no Brasil, estão definidas através da norma NBR 9062 (ABNT, 2017), a qual estabelece os parâmetros para a execução e controle a serem seguidos.

Para esse método construtivo, deve ser levado em conta uma análise de todas as particularidades e projetos complementares de uma obra, prevendo a compatibilidade com as demais estruturas e considerando os custos com transportes, dimensões das peças, tempo de execução, espaço no canteiro, equipamentos disponíveis, controle tecnológico e de qualidade. Isso ocorre, pois todo o detalhamento e acabamento da estrutura devem ser definidos antes da fabricação, evitando correções ou perda das peças, os quais podem resultar em custos desnecessários e atrasos no cronograma (EL DEBS, 2017).

Esse tipo de estrutura teve seus primeiros registros na metade do século XVIII e desenvolveu-se pela Europa e Estados Unidos rapidamente, passando de estruturas mais simples, como elementos de cobertura e pisos, até chegar à construção do primeiro edifício em 1907, nos EUA. Após a Segunda Guerra Mundial, devido à necessidade de construção em grande escala e a escassez de mão de obra, iniciou-se o aumento da demanda de obras com pré-fabricados, por ser um método que automatiza a produção e supre a necessidade de construção em massa. Já no Brasil, os primeiros registros encontrados são os das estacas fabricadas para a fundação do Jockey Clube do Rio de Janeiro, em 1925. Porém, somente com os avanços pós-guerra, que impulsionou-se a utilização desse método construtivo em obras notáveis como a cidade de Brasília e a cidade universitária da USP, em 1950/60 (EL DEBS, 2017).

Com o desenvolvimento do setor iniciou-se a utilização de novas técnicas de fabricação, dentre estas o uso de concreto autoadensável – CAA, esse tipo de concreto é definido pela norma NBR 15823 (ABNT, 2017) como “o concreto que é capaz de fluir, auto adensar pelo seu peso próprio, preencher a forma e passar por

embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém a sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento”. Esse material apresenta benefícios frente ao convencional, visto que, se molda nas formas e preenche os espaços vazios apenas com a força da gravidade, sem a necessidade de vibrações ou métodos de compactação.

Essa solução surgiu para suprir a necessidade de um concreto que possibilitasse a criação de peças em formatos mais ousados e para o uso em estruturas com alto grau de armadura. Em decorrência da utilização desse método, observou-se uma redução do tempo de trabalho e execução, demonstrando, assim, benefícios para a aplicação em pré-fabricados. A razão para o uso do CAA é advinda do melhor controle sobre as variações do concreto tradicional, porém, apesar dos benefícios, o emprego dessa técnica necessita de um maior investimento em pontos como mão de obra especializada, espaço físico, controle tecnológico e processo de produção.

Além do concreto autoadensável, outro componente utilizado pelas empresas de pré-fabricados é o enrijecimento de ligações entre as vigas e pilares, o qual tem como finalidade agrupar a estrutura, transformando-a em um sistema único que se aproxima ao comportamento das moldadas *in loco*. Por conta da dificuldade de execução desse sistema, uma das principais vantagens da pré-fabricação, que é o tempo, pode ser afetada.

Neste contexto, este trabalho procura analisar se as dez empresas escolhidas para análise nesse trabalho utilizam o concreto autoadensável ou enrijecimento de ligações em suas fábricas e entender os motivos que levaram estas empresas a utilizarem as técnicas citadas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a utilização do concreto autoadensável e o enrijecimento de ligações em indústrias dez indústrias de diferentes portes entre os estados de SP, SC e PR, visando melhorar a eficiência e rendimento do sistema construtivo com pré-fabricados de concreto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Averiguar se as empresas utilizam concreto autoadensável ou enrijecimento de ligações em suas fábricas;
- Investigar os motivos que levaram estas dez empresas dos estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná a utilizarem ou não o concreto autoadensável e o enrijecimento das ligações.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

Com o aumento constante da utilização de estruturas pré-fabricadas, nota-se a necessidade do aprimoramento tecnológico, visando estruturas cada vez mais robustas, elaboradas e com uma durabilidade mais elevada.

A aplicação de métodos como o concreto autoadensável e o enrijecimento de ligações, não só é capaz de proporcionar esses aprimoramentos, como também traz uma série de benefícios para a sociedade. Dentre os benefícios estão a execução de construções com melhores condições de trabalho, o que leva a uma redução dos acidentes e problemas ergonômicos. Além das melhorias citadas acima, pode-se também gerar um ganho econômico, caso os recursos sejam utilizados adequadamente para evitar desperdícios de concreto, retrabalho e ganhar tempo na execução. No caso do enrijecimento de ligações, outra vantagem da sua utilização é produzir estruturas com qualidade próxima das moldadas *in loco*, com uma melhor distribuição de esforços, o que possibilita a construção de edifícios com mais de cinco pavimentos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordados assuntos referentes à utilização de duas técnicas, concreto autoadensável e enrijecimento de ligações, nas indústrias de pré-fabricados, levando em conta as vantagens, desvantagens, cuidados e desafios para sua correta utilização.

### 2.1 CONCRETO PRÉ-FABRICADO

#### 2.1.1 Definição

As estruturas de concreto pré-fabricado, são definidas pela norma NBR 9062 (ABNT, 2017), como construções compostas por peças de concreto pré-moldado produzidas previamente fora do seu local de utilização final, quando executadas industrialmente, a partir de matérias-primas e semi-produtos cuidadosamente escolhidos e utilizados, seguindo alguns critérios de qualidade e com mão de obra qualificada. Em seguida estes elementos são transportados à obra onde ocorre a montagem da edificação (REVEL, 1973). A matéria-prima dos elementos pré-fabricados deve ser ensaiada e testada para seguir um controle de qualidade antes de ser utilizada.

A norma NBR 9062 (ABNT, 2017) também impõe alguns parâmetros para o projeto, execução e o controle das estruturas de concreto pré-moldado, armado ou protendido. Além disso, também deve-se buscar a repetição de peças, visando uma padronização da produção, otimizando a utilização de recursos e reduzindo os prazos. Através da norma o processo de industrialização desse método passou a ter uma regularização a ser seguida.

A utilização desse tipo de concreto não tem uma data de início específica, segundo Vasconcelos (2002), um dos fatores que contribuiu para essa evolução foi quando surgiu a ideia de pré-moldar as estruturas do concreto armado fora do seu local de aplicação, o que levou juntamente o início da utilização do concreto pré-moldado. Porém somente após a Segunda Guerra Mundial, que a utilização da pré-

fabricação começou a ser utilizada em maior escala, principalmente na Europa, devido à necessidade de construção em grande escala e escassez de mão de obra (ORDONÉZ, 1974).

### 2.1.2 Utilização

Tanto no Brasil como no exterior, especialmente nos Estados Unidos, um dos principais usos do concreto pré-fabricado vem sendo para edifícios garagem, revista *Industrializar em Concreto* (Nº9 – Dezembro/2016). Essa utilização se dá por conta dos benefícios em relação ao tempo e versatilidade de execução que o sistema de pré-fabricados proporciona, como a baixa demanda do uso de pilares, melhorando a circulação interna, como cita o principal órgão voltado à pré-fabricação, o PCI (2004).

Atualmente, no Brasil, com o aumento da demanda por vagas de estacionamento, principalmente em regiões próximas a aeroportos ou portos, existe uma grande tendência para o uso de pré-fabricados nesse tipo de estruturas, por se tratar de um sistema que apresenta um melhor racionamento de resíduos, é mais eficiente, seguro, tem uma maior rapidez na execução e redução nos custos, *Industrializar em Concreto* (Nº9 – Dezembro/2016).

Outro tipo de utilização é para a produção de painéis pré-fabricados, que podem ser aplicados em diferentes estruturas. Somente após uma experiência exitosa, quando um hotel de São Paulo executou uma construção com esse tipo de material no ano de 1997, houve um crescimento na demanda para o emprego dessa técnica em fachadas de edifícios de múltiplos andares (CONSTRUÇÃO SÃO PAULO, 1997). A fachada do edifício Blue Tree Towers Morumbi com painéis pré-fabricados, na cidade de São Paulo, é apresentada na Figura 1.

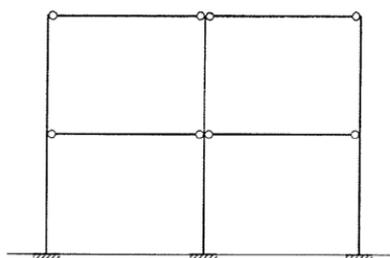
**Figura 1 – Fachadas de painéis arquitetônicos do edifício Blue Tree Towers.**



(Fonte: Revista Hotéis, disponível em: <https://www.revistahoteis.com.br/blue-tree-premium-morumbi-sp-apoia-bingo-beneficente/>, acessado em 20/10/2020)

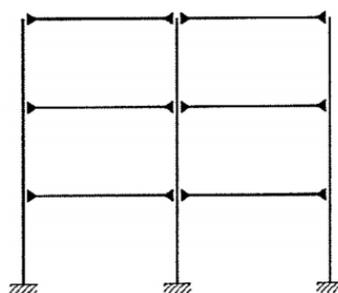
Outro tipo de estrutura em que o emprego do concreto pré-fabricado é requisitado são em edifícios residenciais, os quais podem ser divididos em dois tipos, pequena ou grande altura, limitada até 12 pavimentos. Esse tipo de construção com múltiplos pavimentos tem características favoráveis ao uso do concreto pré-fabricado, tais como elementos com menor peso e maior quantidade de ligações na estrutura. Uma das opções de sistema estrutural utilizados para a construção de edifícios são os de eixo reto, conforme as Figuras 2, 3 e 4, sendo o com pilares engastados na fundação e vigas articuladas nos pilares uma das melhores soluções para edifícios altos (EL DEBS, 2017).

**Figura 2 – Pilares engastados na fundação e vigas articuladas.**



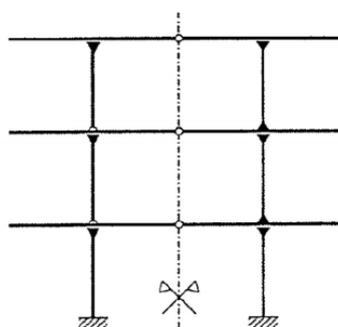
(Fonte: El Debs, 2017)

**Figura 3 – Pilares engastados na fundação e ligações viga-pilar rígidas.**



(Fonte: El Debs, 2017)

**Figura 4 – Pilares da altura do pavimento formando ligação viga-pilar em “T”.**



(Fonte: El Debs, 2017)

Os elementos pré-fabricados, geralmente são utilizados para a melhora da execução, mas segundo Melo (2007), a troca para um sistema de pré-fabricados deve ser estudada e analisada, para definir as ligações, conduta e compatibilidade das cargas atuantes evitando problemas de execução. Essa ligação entre os elementos é feita através de algum tipo de consolo que também está ligado às vigas e pilares, atuando como apoio de outras cargas (MARIN, 2009).

### 2.1.3 Vantagens e desvantagens

#### 2.1.3.1 Otimização do tempo e agilidade

Um dos principais benefícios de acordo com Cichinelli (2009), é a agilidade e a rapidez na execução, resultante da eliminação de escoramento de formas, diminuição de resíduos e pessoal efetivo na obra, visto que a moldagem das peças ocorre fora do canteiro de obras, além da racionalização do uso de recursos.

Para a revista *Industrializar em Concreto* (Nº9 – Dezembro/2016), Monteiro, o engenheiro responsável pela obra de ampliação do aeroporto de Brasília, afirma que com a utilização dessa tecnologia o tempo de execução da obra pode ser reduzido em até 60%, diminuindo o número de imprevistos e descartando possíveis erros de execução. Esses benefícios foram de grande importância para atender o cronograma com prazos enxutos exigido pela obra do Aeroporto Juscelino Kubitschek, no ano de 2013.

Para Almeida (2015), outro quesito que influencia na otimização do tempo e agilidade, é a produção em série. Esse processo garante uma boa produtividade, facilitando o controle de produção da obra e controle da qualidade do produto.

#### 2.1.3.2 Controle de qualidade

A qualidade de uma obra ou produto é um conceito amplo, no qual o objetivo final é atender as expectativas do cliente. O controle de qualidade se inicia desde o planejamento do projeto, produção das estruturas até a entrega do material, sempre visando respeitar o cronograma executivo da obra. Segundo Van Acker (2002) a garantia da qualidade durante a fabricação consiste no controle da matéria-prima, acompanhamento do processo produtivo, uso dos equipamentos de controle, testes e inspeções regulares, para que, ao final do processo fabril, possam ser apresentados ao cliente todos os documentos de qualidade do produto.

Como a produção do concreto pré-fabricado é facilmente controlável, por conta da repetição das peças e capacidade de fabricação em massa. Pode-se dizer que esses fatores garantem uma facilidade para assegurar uma qualidade no produto final a partir do cumprimento dos procedimentos de inspeções de qualidade, os quais podem ser facilitados caso a empresa possua uma certificação ISO 9000.

#### 2.1.3.3 Sustentabilidade

Além de todos esses, benefícios que são citados, outro fator que leva vantagem, é no quesito de desenvolvimento da sustentabilidade, seja no meio econômico, social ou ambiental, conceito que segundo a Organização das Nações Unidas - ONU (2020), é definido da seguinte forma: “O desenvolvimento sustentável

é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades”.

Pagoto (2013) afirma que outra vantagem para a sustentabilidade, se deve pela melhora na qualidade das peças e precisão dos projetos, o que reduz o desperdício de materiais, como concreto e aço. A maior precisão nos projetos também leva a uma diminuição no volume da produção e no gasto de energia, tornando a produção mais sustentável.

#### 2.1.3.4 Durabilidade

Por conta do maior cuidado e elaboração do processo produtivo do concreto pré-moldado, principalmente quanto à sua qualidade, e ao uso de equipamentos cada vez mais modernos, seus elementos tendem a apresentar uma durabilidade mais elevada. De acordo com Van Acker (2002), além de demandar menos manutenção e tratamentos químicos, devido à sua estabilidade. Também se destaca sua resistência ao fogo e conforto térmico e acústico, possibilitando a construção em qualquer clima (PCI, 2004).

#### 2.1.3.5 Organização canteiro de obras

A organização do canteiro de obras é outra das principais vantagens do sistema de pré-fabricados (OLIVEIRA, 2002). Segundo Sirtoli (2015), esse aperfeiçoamento e maior limpeza ocorre pelo fato das estruturas serem entregues prontas, o que leva a uma redução ou eliminação da necessidade de um local para utilizar formas e estocagem de materiais para produção do concreto, como agregado graúdo, agregado miúdo e cimento, além de reduzir os desperdícios com materiais. Para Porto (2010), as estruturas pré-fabricadas contribuem para a diminuição com gastos desnecessários de materiais, também aumentando a segurança e limpeza do canteiro, por proporcionarem mais espaço, menos sujeira, menor acúmulo de resíduos indesejáveis e maior qualidade no ambiente de trabalho.

#### 2.1.3.6 Mão de obra qualificada e disponibilidade

Uma das desvantagens apresentadas, segundo Sirtoli (2015), é a necessidade de mão de obra qualificada para a execução da obra, que por muitas vezes é escassa, sendo que a maioria se concentra nas grandes cidades. El Debs (2017) complementa que, por demandar um efetivo qualificado, o custo da mão de obra é maior, demandando um custo inicial mais elevado, em se tratando de obras com o emprego de pré-fabricados “o custo da hora de operário em canteiro de obra de alguns países da Europa chega a valer até cinco vezes o custo da hora de operário do Brasil”.

Outra desvantagem, por conta da maior dificuldade em encontrar serviços de pré-fabricados, são os custos e limitações de transportes, como cita El Debs (2017). De acordo com Pereira (2001) e Sirtoli (2015), outros fatores que também dificultam o transporte são o peso elevado, cuidados na carga e descarga e na movimentação dos elementos.

#### 2.1.3.7 Investimento inicial e limitação para futuras alterações

Dentre as desvantagens apresentadas por esse sistema, talvez a principal seja o maior investimento inicial, decorrente dos fatores colocados anteriormente, como mão de obra qualificada, transporte, maquinário e compra dos pré-fabricados nos estágios iniciais de trabalho, como citam Fernandes (2016) e El Debs (2017). A limitação para futuras alterações, ou inflexibilidade de projeto também é um ponto negativo, segundo Fernandes (2016), principalmente por dificultar futuras reformas ou ampliações, pois uma obra pode apresentar problemas em decorrência da alteração dos projetos.

### 2.1.3.8 Economia e flexibilidade

O sistema de pré-fabricado está ligado a rapidez, porém a economia desejada pode se tornar obsoleta com o aumento da complexidade da obra e o tempo de execução (MELO, 2007).

Para Sayegh (2011), embora as estruturas pré-fabricadas apresentem um valor mais elevado ao se comparar com a estrutura de concreto moldado *in loco*, é possível diminuir o tempo de execução em até 35%, o que justifica o maior investimento. Para que isso seja possível, deve-se certificar de que o projeto arquitetônico siga todas as especificações desse sistema construtivo, para que se possa incorporar a racionalização, modulação e repetição.

De acordo com El Debs (2017), uma das desvantagens desse sistema é que o concreto pré-fabricado está sujeito a uma tributação específica, o Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI. Isso penaliza de certa forma o seu uso, pois o concreto moldado *in loco* não tem a mesma carga tributária, além de desestimular a industrialização da construção.

## 2.2 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O concreto autoadensável apresenta uma série de fatores que agregam a indústria de pré-fabricados. A sua correta utilização requer cuidados específicos desde a escolha de materiais até o grande controle de qualidade.

### 2.2.1 Definição

Com a evolução de toda engenharia e novos desafios projetados, as exigências da construção civil passaram por um processo de aperfeiçoamento e descobrimento de novas tecnologias do concreto. Um dos fatores que acelerou o desenvolvimento do concreto autoadensável foi a presença constante de abalos sísmicos, principalmente no Japão, que geraram a necessidade de estruturas mais resistentes, duráveis e densamente armadas. De acordo com Melo (2005), na

década de 1980, houve a necessidade de resolver problemas de adensamento em estruturas complexas e ao mesmo tempo aumentar a durabilidade das mesmas, assim utilizou-se um concreto de alto desempenho com características que resolveria esse problema, o mesmo foi denominado de concreto autoadensável.

O concreto autoadensável permitiu a alteração na maneira de produzir concreto, o que facilitou a sua implementação, pois não necessita mais do processo de vibração, espelhamento e facilitou o acabamento evitando o uso do compactador. O concreto autoadensável é capaz de fluir sob ação de seu peso próprio, preenchendo completamente as formas e alcançando plena compacidade, evitando a sobra de material, além de resultar em um processo de concretagem menor que o convencional (BELOHUBY e ALENCAR, 2007).

O concreto autoadensável passou a ser uma boa alternativa na indústria do concreto e tem sido utilizado em construções de todo tipo inclusive na indústria de pré-fabricados, devido a todas as suas vantagens (OKAMURA e OUCHI, 2003; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

A tecnologia do concreto autoadensável atualmente já é normatizada, definindo características específicas para classificar um concreto como CAA pela norma NBR 15823 (ABNT, 2017).

### 2.2.2 Vantagens

A partir do final dos anos 1990, iniciou-se um crescimento na utilização de CAA em várias estruturas, onde as principais foram na indústria de pré-fabricados, reparos e reforços estruturais (OKAMURA e OUCHI, 2003). Esse movimento se deve a muitos estudos e pesquisas, realizados ao redor do mundo, que puderam identificar suas vantagens diante do concreto convencional como (BUI, 2002; EFNARC, 2002; CAMARGOS, 2006.):

- Reduzir os custos da aplicação do concreto devido a melhora do processo;
- Ótimo acabamento aparente do concreto;
- Otimização da mão de obra;

- Aumento na velocidade de produção das obras, devido a redução do tempo da concretagem;
- Melhoria nas condições de segurança da obra;
- Eliminação de ruído devido a não utilização de vibrador para o adensamento;
- Permite o bombeamento em grandes distâncias horizontais e verticais;
- Permite o trabalho com formas complexas e de pequenas dimensões;
- Uso de grande quantidade de aditivos minerais advindo de resíduos industriais, reduzindo o impacto ambiental;
- Redução do custo final da obra em comparação ao sistema convencional de concretagem.

Além disso com a grande resistência à segregação e boa fluidez, segundo Coppola (2000), melhora o desempenho mecânico da estrutura e durabilidade, visto que, elimina macrodefeitos, bolhas de ar e falhas na concretagem, assim também acelerando em média 20% a 25% o tempo de construção.

### 2.2.3 Aplicações

A utilização de CAA ainda é restrita, segundo Okamura e Ouchi (2003), a aplicação no Japão, corresponde apenas a 0,15% do concreto usinado aplicado no país e 0,55% em pré-fabricados.

Dentre os exemplos de obras com concreto autoadensável destaca-se a ponte Akashi Kaikyo, construída no Japão em 1998, apresentada na Figura 5. O uso da tecnologia, resultou na redução do prazo de entrega da obra em aproximadamente 3 meses (GOMES, 2002).

**Figura 5 – Bloco de ancoragem da ponte Akashi Kaikyo, no Japão.**



**(Fonte: Okamura e Ouchi, 2003)**

Já na Europa, o concreto autoadensável foi utilizado também na correção de uma autoestrada A46 em Lyon, na França, (BERNABEU e LABORDE, 2000). Com problemas nos tubos existentes, foi necessário um novo tubo coletor de água interno ao tubo antigo, na ocasião foram utilizados 120 m<sup>3</sup> de CAA.

Após a expansão do uso do concreto autoadensável em outros países, surgiram os primeiros casos de obras com esta solução no Brasil, utilizando as vantagens desse sistema para superar certos desafios.

Um dos primeiros projetos com esse sistema, foi na obra Brookfield Malzoni, concluída em 2011, o empreendimento tinha um desenho com vigas com volume aproximado de 800 m<sup>3</sup>, localizado na Av. Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo, conforme Figura 6. A utilização do CAA foi o fator que viabilizou a concretagem da construção devido à sua complexidade, por conta da grande concentração de bainhas de protensão e de uma estrutura densamente armada (BRITZ e HELENE, 2012).

Figura 6 – Estrutura armada para moldagem da viga, São Paulo.



(Fonte: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/Brookfield.pdf>, acessado em 16/10/2020)

#### 2.2.4 Diferenças de operação e procedimentos em fábrica

A primeira diferença entre o sistema com concreto autoadensável e o convencional é a recomendação da execução do teste *slump-flow* em todo lote de concreto até que sejam confirmadas as características do mesmo, segundo o EPG (2005). Além de que, caso seja recomendado, é necessário fazer alguns outros testes. Alguns desses são: o ensaio L-Box, absorção capilar, U-Box, ensaio de compressão axial e diametral e ensaio de módulo de elasticidade, todos seguindo a recomendação da norma NBR 15823 (ABNT, 2017).

Outro fator importante, é a definição da dosagem, diferente do concreto convencional, as propriedades do CAA, devem ser consideradas ainda no estado fresco, suprimindo as necessidades de desempenho requeridas para a correta dosagem do autoadensável (SCCEPG, 2005). Junto com a correta dosagem, também deve se considerar uma mistura controlada, que devido à grande quantidade de finos presentes, o misturador que pode ser o mesmo utilizado na produção do concreto convencional, deve estar em condições mecânicas adequadas (EFNARC, 2002).

Ainda que os equipamentos de dosagem e misturadores estejam funcionando bem, segundo a norma NBR 7212 (ABNT, 2012), deve-se cumprir

algumas exigências mínimas, estabelecendo tolerâncias e a verificação periódica, em função do desgaste natural dos equipamentos.

Outra diferença é que o CAA é dosado para que não haja a necessidade da utilização de vibradores, visto que esse concreto apresenta grande fluidez e coesão, (SCCEPG, 2005). Os vibradores podem causar segregação no concreto e afetam a estrutura, assim caso ocorram problemas com a compactação deve-se novamente voltar a fazer testes de qualidade para garantir as características, como indica a norma NBR 15823 (ABNT, 2017).

A importância das condições plenas de adensamento desse concreto é apresentada por Neville (1997), que busca associar a massa específica relativa e resistência relativa, o que é vinculado com os valores máximos de massa específica no estado fresco e os valores de resistência à compressão. Além dessas condições após a concretagem é importante cuidar da cura do concreto, que devido à quantidade de finos, torna o concreto mais suscetível a fissuras por retração plástica. A norma NBR 14931 (ABNT, 2004), recomenda que seja feito de início a cura úmida com a utilização de mantas encharcadas dispostas sobre as lajes até que atinjam resistência característica à compressão igual ou maior que 15 MPa.

## 2.3 ENRIJECIMENTO DE LIGAÇÕES

O enrijecimento das ligações apresenta uma série de fatores que agregam a indústria de pré-fabricados. A sua correta utilização requer cuidados específicos para que seja escolhido o melhor tipo de ligação, visando uma melhor adequação para a sequência de montagem e tornando possível a execução de uma determinada estrutura, por exemplo, edifícios altos.

### 2.3.1 Definição

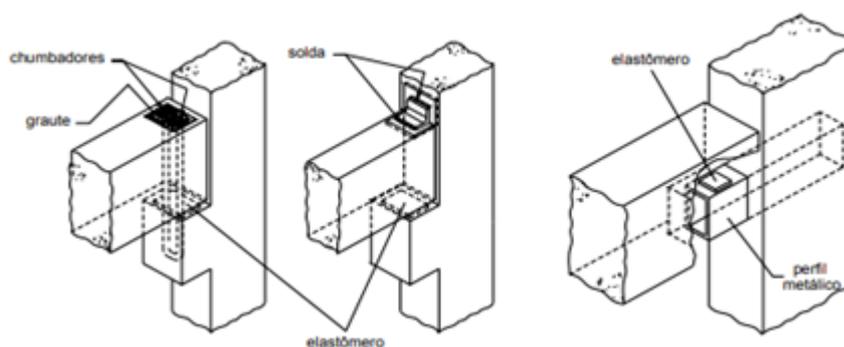
O sistema estrutural de concreto pré-fabricado exige a ligação entre seus elementos por conta da separação dos componentes durante sua fabricação, o que leva a uma necessidade de se considerar os possíveis tipos e particularidades de cada uma das conexões (EL DEBS, 2017). Segundo Ferreira (1999), as ligações são regiões de descontinuidade que podem interferir no comportamento da estrutura, por

conta da possível distribuição de esforços em decorrência do vínculo entre seus elementos.

Dentre as possíveis vinculações entre vigas e pilares, é possível separá-las em três tipos distintos de acordo com a sua rigidez: rígida, articulada e semirrígida. A ligação rígida é aquela que tem total restrição dos deslocamentos e transferência dos esforços entre os elementos da estrutura. As ligações articuladas permitem apenas uma rotação entre os elementos e não transferem nenhuma parcela dos esforços entre os elementos. Já a ligação semirrígida é uma situação intermediária entre os dois outros tipos, pois permite tanto a rotação quanto a transferência de esforços entre os elementos (MARIN, 2009).

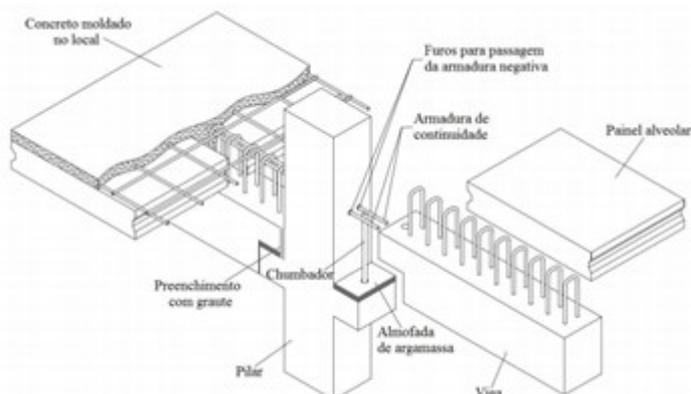
Para exemplificar melhor os tipos de ligações, detalhes de três vínculos possíveis são apresentados na Figura 7, 8 e 9:

**Figura 7: Ligações viga-pilar articuladas**



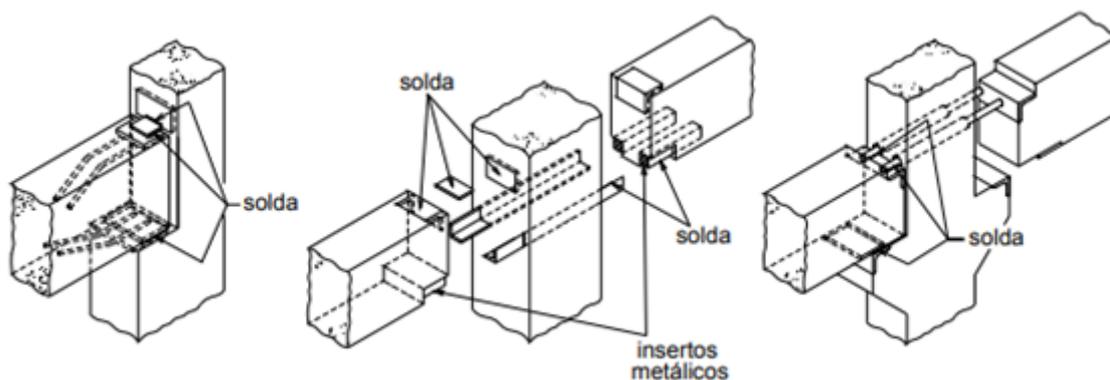
(Fonte: El Debs, 2017)

**Figura 8: Ligações viga-viga sobre pilar semirrígidas**



(Fonte: El Debs, 2017)

**Figura 9: Ligações viga-pilar rígidas com solda**



(Fonte: El Debs, 2017)

Quanto às considerações para projeto e execução, estas são listadas pelo CEB/90 (1993) como sendo:

- As ligações devem assegurar rigidez e estabilidade para a estrutura;
- Devem ser levadas em conta as tolerâncias de fabricação e montagem;
- A análise se estende até as extremidades dos elementos vinculados;
- Devem ser previstas acomodações da ligação, até ser atingida a capacidade.

Complementa-se aos pontos citados acima os parâmetros da FIB (2002):

- É importante prever a proteção contra incêndios para os apoios e armaduras;
- Facilidade e custo de fabricação;
- Capacidade fabril e estocagem;
- Acessibilidade do canteiro de obras.

### 2.3.2 Dimensionamento e utilização

Primeiramente é necessário caracterizar a estrutura quanto a sua rigidez e deformabilidade, visando a sua estabilidade. De acordo com El Debs (2017), a deformabilidade é definida como a relação do deslocamento entre os elementos da ligação com o esforço solicitante. Já a rigidez é o inverso da deformabilidade e está diretamente relacionada ao bom comportamento da estrutura pré-moldada (LINS, 2013).

O parâmetro rigidez de uma ligação pode ser calculado, de acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017), através do fator de restrição  $\alpha_R$ , conforme a Equação 1, a qual relaciona a rigidez secante da viga que está conectada a ligação ( $EI_{sec}$ ) e o comprimento efetivo da viga ( $L_{ef}$ ) com a rigidez secante ao momento fletor da ligação viga-pilar ( $R_{sec}$ ):

**Equação 1: Fator de restrição para cálculo de rigidez**

$$\alpha_R = \frac{1}{1 + \frac{3EI_{sec}}{R_{sec}L_{ef}}} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$$

(Fonte: NBR 9062, ABNT, 2017)

A partir dessa equação, conforme o Quadro 1, El Debs, Elliot e Ferreira (2002) propuseram uma classificação de acordo com a rigidez, separada em cinco zonas, de acordo com o resultado do parâmetro  $\alpha_R$ :

**Quadro 01: Classificação das ligações em estruturas pré-moldadas**

Zona	Fator de Restrição $\alpha_R$		Classificação
I	$0 \leq \alpha_R < 0,14$	$0 \leq \alpha_R < 20\%$	Articuladas
II	$0,14 \leq \alpha_R < 0,40$	$20\% \leq \alpha_R < 50\%$	Semirrígida com baixa restrição
III	$0,40 \leq \alpha_R < 0,67$	$50\% \leq \alpha_R < 75\%$	Semirrígida com média restrição
IV	$0,67 \leq \alpha_R < 0,86$	$75\% \leq \alpha_R < 90\%$	Semirrígida com alta restrição
V	$0,86 \leq \alpha_R < 1,00$	$90\% \leq \alpha_R < 100\%$	Perfeitamente rígidas

(Fonte: El Debs, Elliot e Ferreira, 2002)

De acordo com Meireles Neto (2012), deve-se escolher o melhor tipo de ligação para os elementos de modo a capacitar a transmissão de esforços, restringir movimentos e principalmente, garantir a estabilidade da estrutura. Para estruturas de múltiplos pavimentos, segundo Marin (2009), a melhor solução são as semirrígidas, devido à maior facilidade de execução e aumento de rigidez.

De acordo com Van Acker (2002), nas construções de altos edifícios é necessário enrijecer as ligações viga-pilar para evitar a instabilidade global da estrutura por conta das solicitações horizontais, como a ação do vento. Uma solução para esse tipo de esforço é a utilização de enrijecedores, normalmente paredes de contraventamento.

É evidente que a melhor solução para o bom funcionamento e estabilidade das construções com pré-moldados são as ligações rígidas, entretanto nem sempre são a escolha mais viável. Com o aumento da rigidez do vínculo viga-pilar os trabalhos e recursos necessários para a sua execução aumentam, podendo comprometer as vantagens inerentes a esse sistema construtivo.

O concreto autoadensável e o enrijecimento de ligações por mais que exijam cuidados específicos e um controle elevado em todo o processo da fabricação,

podem apresentar vantagens quando empregados na execução de uma obra, dentre estas: facilitar a montagem, possibilitar a construção de estruturas mais complexas, reduzir os custos e melhorar o acabamento.

### 3. METODOLOGIA

Buscando atingir o objetivo geral do trabalho, foi desenvolvido um questionário para melhor entender os motivos que levam a utilização do concreto autoadensável e o enrijecimento de ligações.

Foram contatadas ao longo dos anos de 2020 e 2021 dez empresas de concreto pré-fabricado com foco em estruturas presentes no Brasil, nos estados do PR, SP e SC.

#### 3.1 QUESTIONAMENTO AS EMPRESAS

O contato foi feito via e-mail e respondido por um profissional capacitado responsável por essa área em cada uma das dez empresas. O questionário foi formulado para que fossem obtidas as informações relevantes a essa pesquisa, conforme Quadro 2:

**Quadro 2: Modelo do questionário aplicado**

Cidade, Estado, País _____		
Porte mensal da fábrica	<input type="checkbox"/> < 500m <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/> 500m <sup>3</sup> > P < 2000m <sup>3</sup>
		<input type="checkbox"/> > 2000m <sup>3</sup>
<b>2. Transporte</b>		
Raio de atuação:	<input type="checkbox"/> < 50 km	<input type="checkbox"/> 50 km > P < 300 km
		<input type="checkbox"/> > 300 km
<b>3. Montagem</b>		
Guindaste	<input type="checkbox"/> Aluga	<input type="checkbox"/> Tem na fábrica
		<input type="checkbox"/> Outro
Emenda de pilar	<input type="checkbox"/> Nunca usou	<input type="checkbox"/> Utiliza
	Porque utilizam: _____	
Enrijecimento da ligação viga-pilar	<input type="checkbox"/> Nunca usou	<input type="checkbox"/> Utiliza
	Porque utilizam: _____	
<b>4. Concreto Autoadensável</b>		
Usam	<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	Desde que ano: _____
	Porque utilizam: _____	

As informações foram divididas em quatro seções principais, a primeira com perguntas inerentes à empresa para que fosse possível situa-la em dois nichos, quanto a sua localidade, possibilitando a separação das fabricas por estado e o outro de acordo com o seu porte mensal, sendo que um volume de produção concreto menor que 500 m<sup>3</sup> caracteriza uma indústria de pequeno porte, entre 500 m<sup>3</sup> e 2000 m<sup>3</sup> médio porte e acima de 2000 m<sup>3</sup> grande porte.

O segundo tópico é para ter uma dimensão do raio de atuação da empresa, pois por muitas vezes as fábricas têm que restringi-lo devido as dificuldades de transporte de peças pré-fabricadas, por conta da sua dimensão e peso. Um raio menor que 50 km é considerado pequeno, entre 50 e 300 km médio e grande se for maior que 300 km.

A terceira seção do questionário foca na parte de montagem, onde é perguntado a respeito da utilização de emenda de pilar, uma técnica de montagem que permite a redução da seção das peças e o objeto principal de pesquisa, o enrijecimento de ligações, além do uso de guindaste para facilitar a movimentação das peças em fábrica e nos empreendimentos. A aplicação dessas duas soluções mostra a preocupação da empresa quanto a diferentes métodos de montagem para que se extraia o melhor resultado.

Por fim a última parte foca no uso do concreto autoadensável pelas empresas buscando atingir o objetivo do trabalho.

### 3.2 APLICAÇÃO DA PESQUISA

Foram obtidos dados de dez empresas entre os estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná que aceitaram fornecer todas as informações e contribuir para a pesquisa, acreditando que cada uma forneceu dados verídicos e condizentes com a realidade atual.

O contato por e-mail foi escolhido para manter uma homogeneidade nos resultados, devido à dificuldade para contatar as empresas via telefone, pois em muitos contatos foi recusado esse tipo de abordagem por motivos indefinidos, e a impossibilidade de visitas técnicas devido à pandemia que assolava o mundo durante o período de pesquisas, entre o segundo semestre de 2020 e o primeiro

semestre de 2021. Esse fator prejudicou o desenvolvimento da pesquisa a qual estava prevendo uma amostragem de dez a vinte indústrias brasileiras, mas ficou limitada à quantidade mínima necessária para a realização desse trabalho. Os estados de SP, SC e PR foram escolhidos devido à proximidade e maior facilidade de contato para implementação do questionário

Nenhuma das informações obtidas foi apresentada sem o consentimento dos responsáveis pela fábrica. Devido ao fato de ser um estudo acadêmico as empresas, não terão seus nomes divulgados, sendo descritas como empresa 1, 2, 3 e assim por diante.

## 4. RESULTADOS

As informações obtidas das dez empresas do setor de pré-fabricados de concreto no Brasil que aceitaram colaborar com este trabalho, foram divididas por estados: Paraná, Santa Catarina e São Paulo e serão apresentadas na sequência.

### 4.1 EMPRESAS DO PARANÁ

A primeira empresa participante utiliza o concreto autoadensável e enrijecimento de ligações na sua fábrica. Esta empresa, denominada Empresa 1, tem seus dados apresentados no Quadro 3:

**Quadro 3: Empresa 1 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	> 2000m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: SIM	Implementação: 2014
Porque utilizam	Determinadas peças e tipos de formas		
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Obras altas		
Raio de atuação	X	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Estabilidade Estrutura		

Esta empresa utiliza o CAA em peças pequenas e complexas ou maiores que 2 metros e em formas menores ou com maior concentração de armaduras, os quais são vantagens deste tipo de concreto. O motivo para o uso da emenda de pilar é para a utilização em obras altas, pois a capacidade de redução do tamanho das peças facilita a movimentação, já o enrijecimento de ligações é usado para dar mais estabilidade as estruturas quando necessário.

A maior estabilidade na estrutura e rigidez nos travamentos proporcionada pelo enrijecimento de ligações e a capacidade de redução das peças para um melhor manuseio e transporte também foi colocado pelas Empresas 3 e 5 como os motivos para a utilização dessas duas soluções. Quanto ao uso do concreto autoadensável, ele é utilizado por estas empresas sob o argumento de eliminar a

vibração na peça e reduzir a necessidade de acabamentos. Os dados são apresentados no Quadro 4 e Quadro 5:

**Quadro 4: Empresa 3 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	> 2000m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: SIM	Implementação: 2009
Porque utilizam	Eliminar a vibração / Reduzir acabamentos		
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Redução de seção de peça		
Raio de atuação	50 km > P < 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Estabilidade Estrutura e Redução na seção da Viga		

**Quadro 5: Empresa 5 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	500m <sup>3</sup> > P < 2000m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: SIM	Implementação: 2018
Porque utilizam	Eliminar a vibração e reduzir acabamentos		
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Redução de seção de peça		
Raio de atuação	> 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Travamento mais rígido		

As Empresas 2 e 4 apresentaram outro ponto para o uso do enrijecimento de ligações, a redução de custos na obra proporcionado por esse sistema, a emenda de pilar é utilizada em peças maiores de 20 metros para reduzir a seção, facilitando o manuseio. As duas apresentam uma diferença apenas quanto ao uso do concreto autoadensável, enquanto a Empresa 2 o utiliza para a redução da mão de obra, a Empresa 4 não utiliza esse sistema. Os dados dessas empresas são apresentados no Quadro 6 e Quadro 7.

**Quadro 6: Empresa 2 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	< 500m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: SIM	Implementação: 2019
Porque utilizam	Redução de mão-de-obra		
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Dimensão > 20 m		
Raio de atuação	50 km > P < 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Redução de custo de obra		

**Quadro 7: Empresa 4 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	500m <sup>3</sup> > P < 2000m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: NÃO	Implementação: -
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Dimensão > 20 m		
Raio de atuação	> 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Redução de custo.		

Por fim, a Empresa 6 informou que não recorre a nenhuma dessas soluções, conforme Quadro 8:

**Quadro 8: Empresa 6 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	> 2000m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: NÃO	Implementação: -
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: NÃO	
Raio de atuação	> 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: NÃO	

#### 4.2 EMPRESAS DE SANTA CATARINA

Foram obtidas informações de três empresas diferentes no estado de Santa Catarina, empresas de pequeno, médio e grande porte, que utilizam e que não utilizam o concreto autoadensável e enrijecimento de ligações.

Das três empresas, apenas a Empresa 9 não utiliza nenhuma das duas soluções. Já a Empresa 8 não informou os motivos da utilização do CAA, para o enrijecimento de ligações e emenda de pilar, novamente a razão foi por uma maior estabilidade e rigidez da estrutura e facilitar a montagem pela redução na seção das peças. Dados apresentados no Quadro 9 e Quadro 10:

**Quadro 9: Empresa 9 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	< 500m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: NÃO	Implementação: -
Guindaste	Aluga	Utiliza emenda de pilar: NÃO	
Raio de atuação	50 km > P < 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: NÃO	

**Quadro 10: Empresa 8 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	> 2000m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: SIM	Implementação: 2009
Porque utilizam	-		
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Facilitar a montagem		
Raio de atuação	50 km > P < 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Estabilidade / Rígidez da estrutura		

A Empresa 7 apresentou os mesmos motivadores para o emprego do enrijecimento de ligações e emenda de pilar, porém complementou informando que este tipo de solução é definido ainda na etapa de projeto conforme necessidade da obra, por exemplo sobrecargas elevadas, que precisam ter apoios travados para evitar rotações e deformações. O uso do CAA é por conta de eliminar vibrações, reduzir acabamentos e mão de obra e maior produtividade. Dados apresentados no Quadro 11:

**Quadro 11: Empresa 7 – Questionário Respondido em 2021**

Volume de produção	500m <sup>3</sup> > P < 2000m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: SIM	Implementação: 2018
Porque utilizam	Eliminar a vibração / Reduzir acabamentos / Redução de mão-de-obra / Maior produtividade		
Guindaste	Tem na fábrica	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Redução de seção de peça		
Raio de atuação	> 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Travamento mais rígido		

#### 4.3 EMPRESAS DE SÃO PAULO

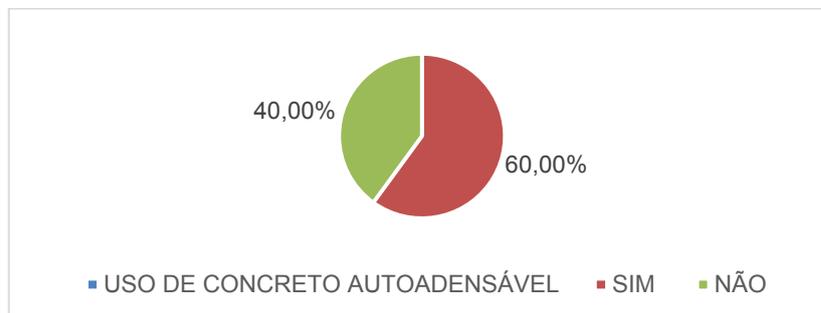
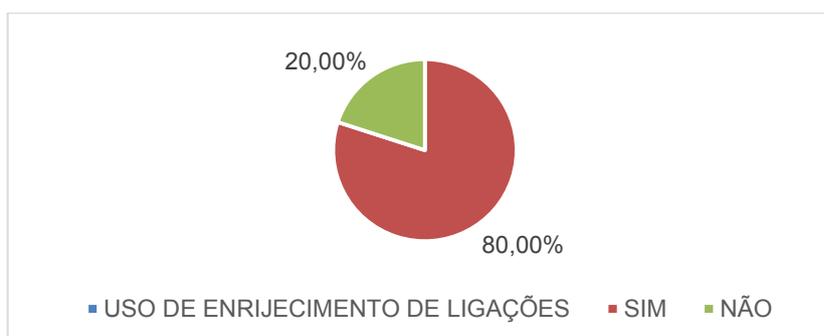
Apenas uma empresa de São Paulo participou dessa pesquisa. A empresa denominada como Empresa 10 apresentou as mesmas razões citadas por outras empresas para justificar o emprego da emenda de pilar e enrijecimento de ligações, o concreto autoadensável não é utilizado, conforme dados do Quadro 12:

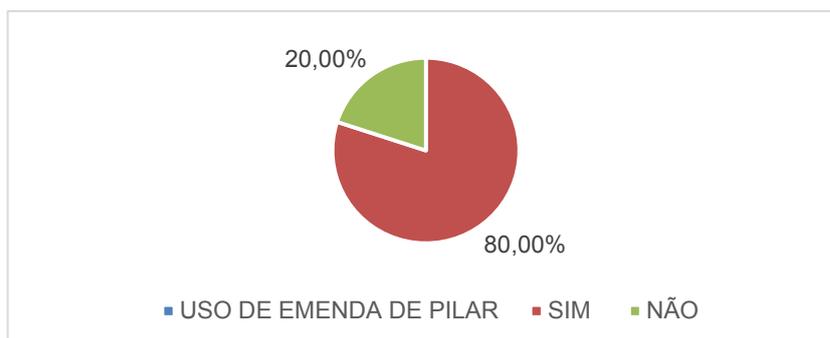
**Quadro 12: Empresa 10 – Questionário Respondido em 2020**

Volume de produção	< 500m <sup>3</sup>	Utiliza CAA: NÃO	Implementação: -
Guindaste	Aluga	Utiliza emenda de pilar: SIM	
Porque utilizam	Redução de seção de peça		
Raio de atuação	50 km > P < 300 km	Utiliza enrijecimento de ligações: SIM	
Porque utilizam	Travamento mais rígido		

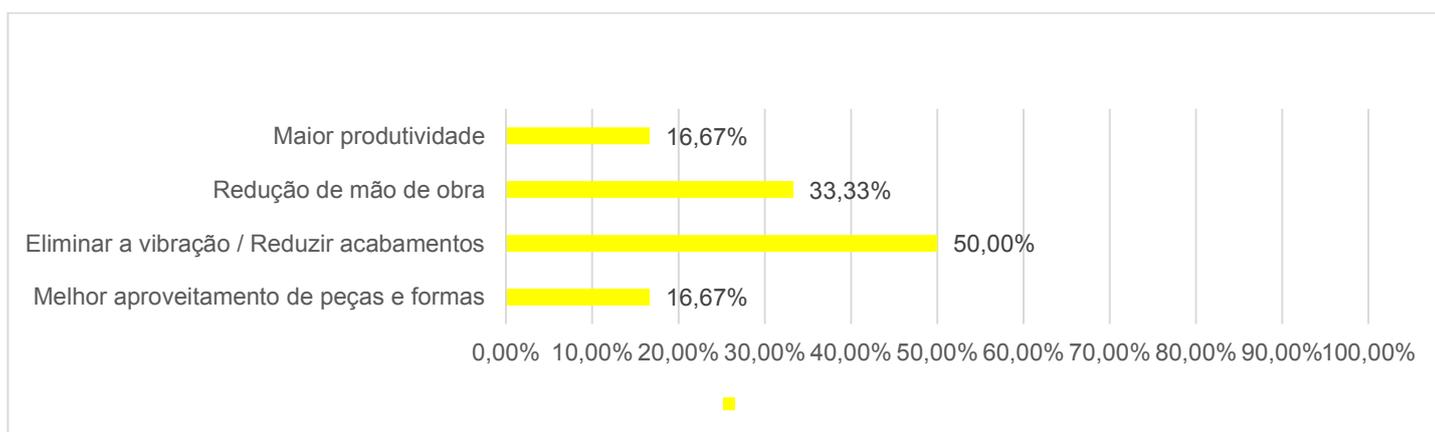
#### 4.4 COMPILAÇÃO DOS DADOS

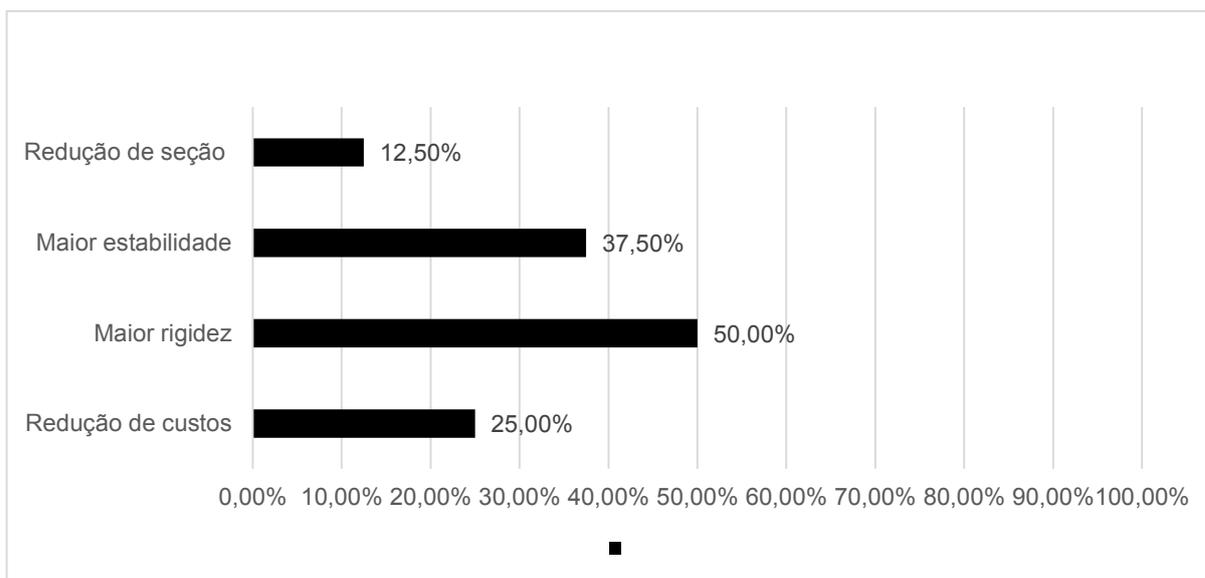
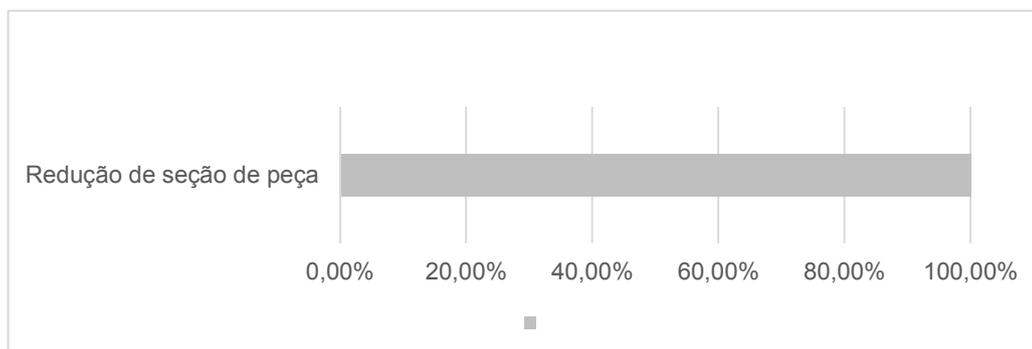
Após a finalização da pesquisa, os dados foram compilados para uma melhor visualização e entendimento dos motivos que levam à utilização do CAA, enrijecimento de ligações e emenda de pilar e o percentual das empresas que os utilizam. Dados apresentados no Gráfico 1, Gráfico 2, Gráfico 3, Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6.

**Gráfico 1: Uso de concreto autoadensável nas empresas****Gráfico 2: Uso de enrijecimento de ligações nas empresas**

**Gráfico 3: Uso de emenda de pilar nas empresas**

Tanto a técnica de concreto autoadensável quanto as de e emendas de pilar e enrijecimento de ligações são predominantes nas empresas, conforme dados plotados nos gráficos. A aplicação do concreto autoadensável está presente em 60% das empresas enquanto o enrijecimento de ligações e emenda de pilar são empregados em 80% delas. Um dado importante é que em todos os casos das empresas que afirmaram que adotam enrijecimento de ligações, também foi confirmada a montagem com uso de emenda de pilar.

**Gráfico 4: Motivo do uso de concreto autoadensável**

**Gráfico 5: Motivo do uso de enrijecimento de ligações****Gráfico 6: Motivo do uso de emenda de pilar**

Dentre os motivadores para a aplicação das técnicas de CAA, enrijecimento de ligações e emenda de pilar, os principais pontos informados pelas empresas foram eliminar a vibração e reduzir os acabamentos no caso do concreto autoadensável, o qual foi reportado por três das seis empresas que utilizam essa técnica, já para o enrijecimento de ligações o fator preponderante foi aumentar a rigidez e estabilidade da estrutura, citado por três e duas empresas, respectivamente e no caso da emenda de pilar a resposta foi unanimidade, ou seja, as seis empresas alegaram a redução da seção da peça como o motivador. Um dado importante acerca dos gráficos é que cada um dos itens poderia chegar a 100%, caso todas as empresas o citassem como a causa para o emprego da referida técnica.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL

- No início deste trabalho acreditava-se que a utilização do CAA e do enrijecimento seria predominante pelas empresas de grande porte, devido aos benefícios, a estrutura e ao poder de investimento das mesmas;
- Das dez empresas que participaram da pesquisa, pode se observar que seis delas já utilizam o CAA em sua produção;
- Os principais motivos foram a eliminação de etapas e redução da mão de obra;
- Das quatro empresas que não utilizam o concreto autoadensável em suas fábricas, acredita que os motivos principais sejam: a necessidade de investimentos em melhorias na produção, treinamento dos envolvidos no processo produtivo e certo bloqueio de algumas fábricas que acreditam que devem manter-se no tradicional;
- As empresas que adotaram o concreto autoadensável reportaram que estão satisfeitas com a sua aplicação e ressaltam que depois da mudança não imaginam voltar atrás, pois enxergam que as vantagens são menos importantes e destacam: o melhor acabamento das peças, a ausência dos nichos de concretagem em peças finas e densamente armadas, a ausência de ruído do vibrador de imersão.

## 5.2 UTILIZAÇÃO DO ENRIJECIMENTO DE LIGAÇÃO E EMENDA DE PILAR

- Para o enrijecimento de ligação, oito das dez empresas utilizam o enrijecimento de ligação e emenda de pilares;
- As empresas alegam que esse método é benéfico para diferentes situações que podem facilitar, desde o transporte até a montagem da estrutura, assim reduzem o custo e a mão de obra, além de garantir uma maior estabilidade e rigidez das estruturas moldadas;
- Para a emenda de pilares todas as empresas alegaram a redução na seção das peças como o principal motivo de utilização, o qual pode se observar vantagens arquitetônicas e referente ao espaço do ambiente;
- As empresas que não utilizam esses métodos, acreditamos que tenha uma falta de demanda em peças mais complexas e elaboradas.

## 5.3 CENÁRIO ATUAL E EXPECTATIVA PARA O FUTURO

- Com as informações observadas ao longo deste trabalho observa-se que o enrijecimento de ligação já é um método comum e utilizado, sempre para facilitar a produção de peças mais complexas e de dimensões maiores;
- Acredita-se que em um curto espaço de tempo haverá a seguinte distinção nas empresas de pré-fabricados: as que utilizam e as que não utilizam concreto autoadensável vão perder vantagem competitiva que só lhes restarão duas opções: ou passam a utilizar o CAA ou correm o risco de precisar fechar suas fábricas, em especial em momentos de crise econômica.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto que o trabalho atual foi feito em um momento atípico, enfrentamos diversas dificuldades para entrar em contato e analisar uma quantidade maior de empresas, acreditamos que para uma próxima pesquisa poderia pensar nos seguintes pontos:

- Repetir a pesquisa, buscando mais informações de uma quantidade maior de empresas, buscando dados de novas regiões do Brasil, para então comparar os dados de cada região;
- Buscar repetir a pesquisa, com um grau maior de informação, realizando visitas técnicas e buscando entender claramente o porquê da utilização de certas tecnologias e também o da não utilização das mesmas;
- Por fim, encontrar novas tecnologias diferenciadas que possam melhorar a produção das fábricas e fazer uma nova pesquisa com algumas empresas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto autoadensável. Rio de Janeiro, 2017.

ALMEIDA, L. Estudo de sistemas construtivos pré-fabricados modulares aplicados em canteiros de obras. Belo Horizonte, 2015.

BELOHUBY, M.; ALENCAR, R.S.A. **Tecnologia do concreto pré-fabricado: Inovações e aplicação**. In: MANUAL MUNTE de projetos em pré-fabricados de concreto. 2. ed., p. 511-531, 2007.

BERNABEU, J. J. P.; LABORDE. Production system for civil engineering. In: **Brite EuRam Program: Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete**. Task 8.3, p.1-40, 2000.

BRITEZ, C.; HELENE, P. Abraço histórico – Participação da PhD Engenharia no controle tecnológico do concreto da obra do Brookfield. **Revista Técnica**, Ed. 179, p. 38, 2012.

BUI, V. K.; MONTGOMERY, D.; HINCZAK, I.; TURNER, K. Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete. In: **Cement and concrete research**, n. 32, p. 1489-1496, 2002.

CAMARGOS, U. A. Concreto Auto-adensável e Autonivelante. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 59, p. 04-05, 2006.

CICHINELLI, G. C. Pré-fabricados de Concreto. **Revista Construção**. Ed 98. São Paulo, 2009.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON. CEB-FIP MODEL CODE 1990: design code. London: Telford, 1993.

- CONSTRUÇÃO SÃO PAULO. Cartão de visita. São Paulo: Ed. **Pini**, n. 2572, 1997.
- COPPOLA, L. Self-compacting concrete. **In: Concrete Technology**, p. 42-47, 2000.
- EFNARC. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. EFNARC, 2002.
- EL DEBS, M. K. Concreto Pré-Moldado, fundamentos e aplicações, 2º Edição, São Paulo, 2017.
- EL DEBS, M. K.; ELLIOT, K. S.; FERREIRA, M. A. Modelo teórico para projeto de ligações semirrígidas em estruturas de concreto pré-moldado. **In: 44º Congresso Brasileiro de Concreto**. Belo Horizonte: Ibracon, 2002.
- EPG – European Project Group (BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; FNARC). “The European guidelines for self-compacting concrete”. 63 p., 2005.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. Design examples for FIP recommendations ‘practical design of structural concrete’, Bulletin FIB, Lausanne, v.16, 2002.
- FERNANDES, G. D. - **Desenvolvimento técnico e avaliação de custo e benefício do sistema construtivo de painéis sanduíche, com núcleo de garrafas pet, moldados no local**. 2016. 176 f. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2016.
- FERREIRA, M. A. **Deformabilidade de ligações viga-pilar de concreto pré-moldado**. 231f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- GOMES, P.C.C. Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete. 2002. 139p. Tese – Escola Tècnica Superior D’Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.
- LINS, F. F. V. Contribuição à avaliação da estabilidade global e pré-dimensionamento de pórticos planos em concreto pré-moldado. 203p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- MARIN, M. C. Contribuição à análise da estabilidade global de estruturas de concreto pré-moldado de múltiplos pavimentos. 213p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- MEIRELES NETO, M. Estabilidade de edifícios de concreto pré-moldado com ligações semirrígidas. 122p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MELO, K. A. Proposição de método de dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcáreo. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2005.

MELO, C. E. E. Manual MUNTE de Projetos em Pré-fabricados de concreto. 2. ed. São Paulo: **Pini**, 2007.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. São Paulo: **Pini**, 828p, 1997.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self-compacting concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, Tokyo, vol. 1, n. 1, p. 5-15, 2003.

OLIVEIRA, L. A. Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios, 2002.

ONU - Organização das Nações Unidas, Brasil, 2020, disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 02 out. 2020.

ORDONÉZ, J. A. F. **Prefabricación**: teoría y práctica. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. v.1, 1974.

PAGOTO, M. V. Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos entre estruturas pré-fabricadas e moldadas in loco, 2013.

PCI - Precast and Prestressed Concrete Institute. PCI Design Handbook 6th Edition (6th ed.). USA, 2004.

PEREIRA, T. C. A. Avaliação de desempenho de sistemas racionalizados de vedação para edifícios com estruturas metálicas. 153 f. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2001.

PORTO, S. **Pré-moldados de concreto**: soluções sustentáveis e competitivas para obras habitacionais, esportivas e de infraestrutura. **Revista Concreto e Construções**. ed. 59. São Paulo, 2010.

REVEL, M. La prefabricación en la construcción, 1.ed. Bilbao: **Urmo**. 457p., 1973.

**Revista Hotéis**. Disponível em: <https://www.revistahoteis.com.br/blue-tree-premium-morumbi-sp-apoia-bingo-beneficente/>. Acesso em: 20 out. 2020.

**Revista Industrializar em concreto**, N°9 – Dezembro/2016. Disponível em: <http://www.industrializaremconcreto.com.br/Edicoes/Edicao/635>. Acesso em: 02 out. 2020.

SAYEGH, S. Pré-fabricação a Limpo. **Revista aU**. ed. 130. São Paulo, 2011.

SELF-COMPACTING CONCRETE EUROPEAN PROJECT GROUP (SCCEPG). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use. Londres: SCCEPG, 2005.

SIRTOLI, A. S. C. Industrialização da construção civil, sistemas pré-fabricados de concreto e suas aplicações, 2015.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. Concreto autoadensável. 2. ed. São Paulo: **Pini**, 2015.

VAN ACKER, A.; FERREIRA M. de A. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**, 2002.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil**: pré-fabricação, monumentos, fundações. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2002.