



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

SMITH STOCLOS DE OLIVEIRA CARDOSO

ESTUDO DE MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA PONTES PRÉ-MOLDADAS

Palmas – TO

2017

SMITH STOCLOS DE OLIVEIRA CADOSO  
ESTUDO DE MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA PONTES PRÉ-MOLDADAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Daniel Iglesias de Carvalho.

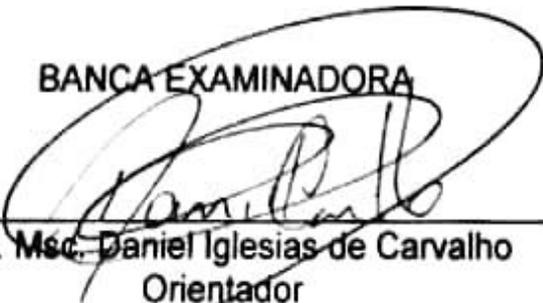
Smith Stoclos de Oliveira Cardoso  
ESTUDO DE MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA PONTES PRÉ-MOLDADAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Daniel Iglesias de Carvalho.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

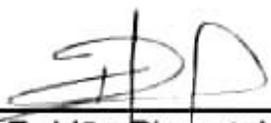
**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Msc. Daniel Iglesias de Carvalho  
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Msc. Roldão Pimentel de Araújo Junior  
Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Esp. Rafael Alves Amorim  
Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO  
2017

Primeiramente a Deus por tudo.

Aos meus pais, Anfrisia e Jetter, por sempre estarem ao meu lado.

À minha futura esposa, Jessica, pela força e compreensão.

A toda minha família e amigos que me apoiaram.

Aos meus inimigos, pelo incentivo indireto.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me acompanhar a todo o momento. A seu filho Jesus por dar a sua vida em troca da minha salvação.

Aos meus pais, que me deram a oportunidade de estar neste mundo e me ampararam sempre, contribuindo com a minha educação, estando sendo ao meu lado nos momentos difíceis, sempre acreditando e dando força, para que eu pudesse caminhar com serenidade e persistência em busca de meus objetivos.

A minha Jessica pelo suporte, paciência, amor e carinho durante essa jornada.

Ao meu orientador, Prof.<sup>o</sup> Me. Daniel Iglesias de Carvalho, pela disposição, paciência, e tempo dedicado, sem o qual este trabalho nunca teria acontecido.

Aos todos os amigos e familiares que me apoiaram, participaram e torceram por mim durante esta caminhada.

A todos aqueles de que de alguma forma contribuíram para esta realização.

“A competitividade de um país não começa nas indústrias ou nos laboratórios de engenharia. Ela começa na sala de aula.”

(Lee Iacocca)

## RESUMO

Cardoso, Smith Stocllos de Oliveira. **Estudo de Métodos Construtivos Para Pontes Pré-Moldadas**. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

O presente trabalho aborda o estudo dos métodos construtivos para a construção da superestrutura de pontes com peças pré-moldadas ou pré-fabricadas, por meio de revisão bibliográfica. De modo que são sistematizados seus vários processos e etapas construtivas, apresentando-se para cada um suas características particulares, campos de aplicação, vantagens e desvantagens, aspectos referentes às operações de manuseamento, armazenagem, transporte e montagem das peças. Elaborando-se, assim, uma plataforma de conhecimentos que objetiva auxiliar no processo de decisão sobre qual método executivo de tabuleiros adotar, como aconteceu na aplicação do estudo, onde foi chegada a conclusão de que a junção dos métodos das aduelas com o das vigas seria a melhor opção para uma possível duplicação da ponte Fernando Henrique Cardoso. Primeiramente foram levantados os principais métodos conhecidos (vãos inteiros, aduelas, vigas & lajes) e suas respectivas etapas construtivas, para posteriormente serem caracterizados, descritos e triados juntamente com suas respectivas etapas. As principais características de cada método são: os vãos inteiros alcançam grandes distâncias, mas são de difícil transporte e manuseio, enquanto as vigas & lajes são mais fáceis de transportar, mas que não são capazes de vencer grandes vãos, já o método das aduelas reuni, além de outras, as melhores características dos outros métodos, sendo mais flexível para seu manuseio e que também pode vencer grandes vãos.

Palavras-chave: Construção civil. Pontes e viadutos. Métodos construtivos para pontes. Pontes pré-moldadas. Pontes pré-fabricadas.

## **ABSTRACT**

Cardoso, Smith Stoclos de Oliveira. Study of Constructive Methods for Pre-cast Bridges. 2017. 71 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2017.

The present work deals with the study of the constructive methods for the construction of the superstructure of bridges with precast or prefabricated parts, through a bibliographic review. The fields of application, advantages and disadvantages, relating to the operations of handling, storage, transport and assembly of parts. Thus, a platform of knowledge that aims to be active in the decision-making process on the method of tray application was developed, as it happened in the application of the study, where it was found a conclusion of a joint of the methods of the staves with the one of the beams would be the the best option for a possible duplication of the Fernando Henrique Cardoso bridge. (Whole vain, staves, beams and slabs) and their respective constructive stages, in addition to being characterized, described and screened together with their respective stages. The main characteristics of each method are: the whole vain, however, as they are beams and slabs are easier to transport, but are not able to overcome large gaps, already the method of the staves met as well as others, as better characteristics of others methods, being more flexible for its handling and that can also overcome large gaps.

Keywords: Civil construction. Bridges and viaducts. Constructive methods for bridges. Pre-cast bridges. Prefabricated bridges.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da Ponte Öresund situada entre Malmö e Copenhagen .....	16
Figura 2- Parte estaiada mais ao fundo da Ponte Öresund.....	17
Figura 3- Ilha artificial e entrada para parte submersa da Ponte Öresund .....	17
Figura 4- Esquema dos elementos nas pontes.....	23
Figura 5- Seções de elementos pré-fabricados para a superestrutura de pontes.....	24
Figura 6- Lançadeira superior de aduelas pelo método de avanços progressivos .....	27
Figura 7- Lançadeira superior de aduelas pelo método de avanços sucessivos .....	27
Figura 8- Construção com recurso a tirantes provisórios .....	28
Figura 9- Içamento do vão central da Ponte Rio-Niterói.....	29
Figura 10- Montagem das aduelas pré-moldadas da Ponte Rio-Niterói.....	29
Figura 11- montagem das vigas pré-fabricadas da Ponte Rio-Niterói .....	30
Figura 12- Construção do vão central da ponte FHC .....	31
Figura 13- Construção da Ponte FHC.....	31
Figura 14- Ponte FHC atualmente .....	32
Figura 15- Etapas construtivas a e b, início da construção. ....	39
Figura 16- Etapas construtivas <u>c</u> e <u>d</u> , término da estrutura. ....	39
Figura 17- Etapa construtiva <u>e</u> , término da construção. ....	40
Figura 18- Chegada da SLJ900/32 à borda já construída e projeção de seu eixo ao próximo pilar ....	41
Figura 19- Trabalhadores configurando a SLJ900/32 e posicionamento final da peça.....	42
Figura 20- Içamento do vão central de 200 metros .....	43
Figura 21- Içamento do vão central de 300 metros .....	44
Figura 22: Lançadeira inferior de aduelas.....	47
Figura 23: Cimbria autoportante .....	48
Figura 24: Elevação de aduelas por guias .....	49
Figura 25: Elevação de aduelas por guincho .....	50
Figura 26: Treliza lançadeira superior por avanços sucessivos. ....	51
Figura 27: Construção de ponte com recurso a tirantes definitivos (ponte atirantada) .....	52
Figura 28: Içamento das aduelas por guindastes acoplados na treliza .....	53
Figura 29: Içamento das aduelas por meio de treliza lançadeira superior por avanços progressivos .	55
Figura 30: Montagem das vigas pré-moldada por guindaste sobre rodas .....	59

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Fatores relevantes para a duplicação da ponte FHC.....	60
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABC- Accelerated Bridges Construction  
ABNT- Associação brasileira de normas técnicas  
ABCIC- Associação Brasileira da Construção Industrializada  
BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social  
CBPE- Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas  
CRUSP- Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo  
DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes  
FHC- Fernando Henrique Cardoso  
FINEP- Financiadora de Estudos e Projetos  
FUNDUSP- Fundo de Construção da Universidade de São Paulo  
IBRACON- Instituto Brasileiro do Concreto  
ISO- International Organization for Standardization  
PIT- Programa Inovação Tecnológica  
UHE- Usina Hidroelétrica  
SP- São Paulo  
TO-Tocantins  
Km- Quilômetros  
m- Metros  
m<sup>2</sup>- Metros quadrados  
m<sup>3</sup>- Metros cúbicos  
3D- Três dimensões  
%- Por cento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.2 OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>2 REREFENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1 INOVAÇÕES UTILIZADAS EM OBRAS DE ARTE VIÁRIAS.....	15
2.2 UTILIZAÇÃO DE PRÉ-FABRICADOS E PRÉ-MOLDADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	20
2.3 UTILIZAÇÃO DA PRÉ-MOLDAGEM EM PONTES.....	22
2.4 PONTE FERNANDO HENRRIQUE CARDOSO .....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
3.1 PESQUISA E ESTUDO DOS MÉTODOS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS...33	
3.2 CARACTERIZAR E DESCREVER OS OBJETOS DE ESTUDO .....	34
3.3 CONHECIMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DE DUPLICAÇÃO DA PONTE FHC.....	34
3.4 CONCLUSÃO E APLICAÇÃO DO ESTUDO.....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
4.1 MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	37
<b>4.1.1 VÃOS INTEIROS</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1.2 ADUELAS</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1.3 VIGAS E LAJES COMO TABULEIRO</b> .....	<b>55</b>
4.2 CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DA PONTE FERNANDO HENRRIQUE CARDOSO .....	59
4.3 APLICAÇÃO DO ESTUDO.....	60
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>67</b>
5.1 TRABALHOS FUTUROS .....	68
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma Infraestrutura de boa qualidade é um fator essencial para o desenvolvimento social e econômico de uma região. E uma das partes de suma importância das infraestruturas são as vias que interligam os municípios e que tem a principal função do escoamento de toda produção e livre afluência da população. Em uma parte essencial desse sistema se encontram as obras de artes viárias, que, segundo Silva Filho (2011), compreendem pontes e viadutos, executadas com o objetivo de vencer barreiras naturais ou artificiais garantindo eficiência e funcionalidade do conjunto sem que seja interrompido o fluxo.

Um dos materiais mais empregados atualmente na construção de pontes e viadutos é o concreto armado, que compreende em estruturas mistas de concreto e aço. Pois em suas vantagens, de acordo com Sirtoli (2015), estão a liberdade de serem obtidos grandes vãos, variados tipos de seções, boa resistência a cargas e a meios agressivos, entre outras, que mostra o quão esse tipo de solução se torna mais adequada e viável.

Com a ideia de se aumentar a produtividade das construções de infraestruturas, por vários fatores que foram abordados nesse estudo, muitas das vezes se torna necessário a adoção de estruturas pré-moldadas que, segundo a NBR 9062(ABNT, 2006) e El Debs (2000) são definidos como elementos de concreto armado que são produzidos, por indústrias (pré-fabricados) ou no próprio canteiro de obras (pré-moldados), fora da sua posição definitiva na construção. Essa solução construtiva está ganhando um grande espaço no cenário mundial e brasileiro nas últimas décadas e está vigorosamente ligada ao desenvolvimento tecnológico do país.

O presente trabalho abordou o estudo de métodos e técnicas construtivas para a construção de pontes utilizando a tecnologia de pré-moldados e pré-fabricados, com o objetivo de incentivar a busca e adoção de novas tecnologias que aumentem a produtividade e a competitividade no setor da construção civil. Posteriormente foi realizado um tipo de estudo de caso de forma a aplicar os conhecimentos adquiridos no decorrer do trabalho, em que foi adotado o método e técnica construtivos mais construtivamente adequados para uma duplicação da Ponte Fernando Henrique Cardoso da Amizade e Integração.

No entanto só a partir da construção das vigas que se começa a necessidade de adaptação para receber as peças pré-moldadas (aduelas, tabuleiros, ou até vãos

inteiros). Portanto, essa pesquisa se atentou mais em analisar os métodos e as etapas construtivas das partes pré-moldadas do tabuleiro das pontes, do transporte à montagem das peças, para a escolha dos mesmos na utilização de um projeto de duplicação da ponte FHC.

De acordo com Diniz (2006) e Eiger (2006), a tecnologia de pré-moldados gera uma economia significativa no tempo de execução e no custo da obra. Mas as questões são: onde se aplicam os métodos construtivos de pré-moldados para pontes? Quais etapas seguir? Que método de pré-moldados é mais adequado para um projeto de duplicação da ponte FHC (Fernando Henrique Cardoso)?

O que veio a impulsionar a realização desse trabalho é entender os métodos e as técnicas construtivas utilizados na construção de pontes pré-moldadas, e aplica-lo na tomada da decisão de qual caminho deve ser seguido para um projeto de duplicação da ponte FHC, dando um maior direcionamento à pesquisa e mostrando na prática como solucionar essa decisão. Estudando os métodos empregues na construção de pontes pré-fabricadas e suas respectivas etapas construtivas, obtemos as ferramentas necessárias para a triagem dos mesmos em um projeto de pontes que se saia mais adequado aos requisitos da obra.

Este trabalho também é voltado para os estudantes de engenharia civil e os profissionais da área que queiram obter conhecimento suficiente sobre o uso de pré-moldados em pontes, uma vez que este estudo traz informações sobre outros trabalhos científicos, ao ponto de terem confiança suficiente e uma boa base para escolher quais métodos e passos irão ser mais sensatos para as solicitações do projeto.

Baseado em projetos, empresas especializadas, documentários, livros e artigos científicos diretamente voltados ao estudo de pontes pré-moldadas, que contenham em seus recheios os métodos que usualmente são utilizados no projeto e na construção de pontes que desfrutam das vantagens encontradas na tecnologia de pré-moldados. Esse estudo pretende, desse modo, incentivar a busca de novas tecnologias sustentáveis que nos trazem inúmeras vantagens e consequências que, no nosso caso se resume na redução no tempo de obra e no aumento da eficiência global da obra.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo levantar e caracterizar os métodos e as etapas construtivas para pontes pré-moldadas, e identificar o método mais adequado e mais viável tecnicamente e operacionalmente para uma possível duplicação da ponte FHC.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Estudar os métodos e técnicas construtivas utilizadas na construção de pontes pré-moldadas;

Caracterizar e descrever cada método e processo construtivo já levantado e analisado;

Conhecer as características para um projeto de duplicação da ponte FHC;

Propor o método, a técnica e o processo construtivo que melhor se encaixa no perfil da ponte conhecida, atendendo as exigências dessa pesquisa.

## 2 REREFENCIAL TEÓRICO

A área da Construção Civil ainda é vista, de certa forma, como tradicional e conservadora, onde ainda é executada por técnicas artesanais e algumas vezes arcaicas, em contraste ao alto volume de produção e rapidez exigidas pelas indústrias em geral atualmente.

É interessante destacar que em 2013 ocorreu uma marcante mudança no cenário da construção civil brasileira. Entrou em vigor a Norma de Desempenho – NBR 15.575 (ABNT, 2013), publicada em fevereiro do ano citado, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Documento que se refere, de uma maneira geral, ao impulso de qualidade nas edificações habitacionais, instituindo um nível de desempenho mínimo para os principais elementos da obra, dessa forma, é possível afirmar que essa norma incentiva a utilização de sistemas construtivos inovadores. Esse incentivo ao desenvolvimento ou à inserção de inovações, de certa forma, veio para agregar competitividade entre as empresas da construção civil e demais.

“Para o PIT (Programa Inovação Tecnológica), inovações tecnológicas compreendem as implantações de produtos e processos tecnologicamente novos e substanciais melhorias tecnológicas em produtos e processos”(Santos & Ramos, 2014, p. 3)

“Atualmente, a inovação tecnológica pode ser considerada como uma estratégia competitiva para as organizações [...]” (Toledo, Abreu, & Jungles, 2000, p. 1).

Com a globalização e o aumento da competitividade no setor, ultimamente tem-se procurado inovar para obter maior produtividade, qualidade e redução dos custos. Em contrapartida, ainda existe grande hesitação em cambiar um produto ou serviço tradicional e com aceitação garantida no mercado, por outro, mesmo com ganhos consideráveis em produtividade, sustentabilidade e no custo.

Alguns exemplos de inovações no cenário mundial:

- Construção 4.0: é o termo usado para se referir a tudo que abrange a automação através de softwares e emprego de novas tecnologias construtivas na construção civil, como: impressão 3D, sensores vestíveis, comunicação móvel em projetos, rastreamento de ferramentas, drones e etc.
- Gestão Sustentável da Água: trata-se mais de um planejamento estrutural em que a obra seja pensada de forma a reduzir o consumo de água;
- Contrapiso Autonivelante, Auto adensável ou Autoescoante: tem como protagonista um material altamente fluido se comparado às argamassas convencionais;

- Light Steel Frame: consiste em estruturas mistas de aço e concreto ou gesso. Não é uma tecnologia relativamente nova, mas não é tão usada e ocasiona uma evolução silenciosa no nosso mercado.
- Estruturas Pré-moldadas e Pré-fabricadas: como o próprio nome já diz são peças moldadas ou fabricadas antes de sua locação efetiva na estrutura. Seu leque de aplicação é imenso, e a cada dia que passa só vem crescendo, exemplos: pilares, vigas, lajes, galerias, blocos, paredes, cobertura, pontes e ultimamente até na área de pavimentação.

## 2.1 INOVAÇÕES UTILIZADAS EM OBRAS DE ARTE VIÁRIAS

O termo 'Obras de Arte Viárias' se refere ao conjunto de pontes e viadutos, sistemas fundamentais nas redes de transporte rodoviário e ferroviário. As pontes são indispensáveis sempre que temos de vencer um obstáculo natural de grande porte, otimizando substancialmente as distâncias do nosso sistema viário. Já os viadutos podem ser definidos como um tipo de ponte urbana construída sobre uma via, que visa não interromper o fluxo rodoviário ou ferroviário quando este se depara com algum obstáculo natural de depressão do terreno, cruzamentos e outros.

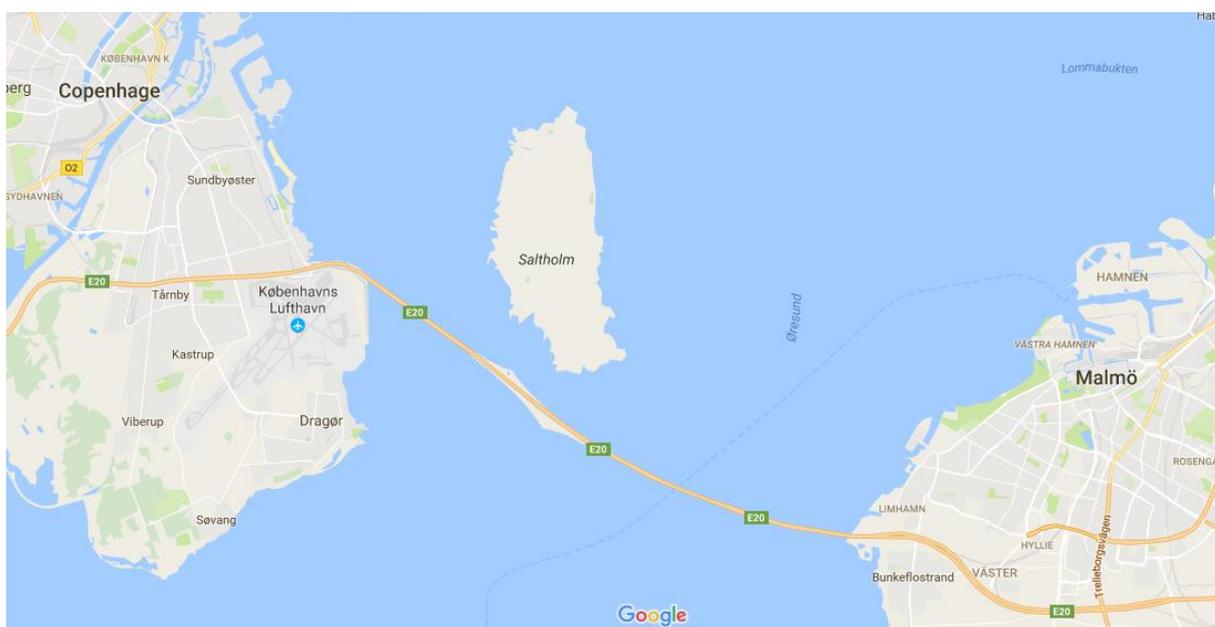
É importante ressaltar que obras de arte viárias demandam um maior conhecimento de caráter especial e específico, pois, além de maiores variáveis (cargas móveis, ação do vento, ressonância e etc.) a serem consideradas em seus cálculos, regularmente é primordial superar vários estorvos de construir em superfícies de difícil acesso como em corpos de água, escarpas, entre outros. Além disso, independente das características do projeto ou da construção, é demandado grande precisão e alta qualidade de projeto e execução, salvo, em parte, obras de pequeno porte, como pontilhões ou pontes pequenas de pouco tráfego.

Em virtude dos fatos mencionados é possível ter a noção de que obras desse porte requerem um maior investimento no custo e no tempo de execução da obra, sem contar a necessidade de uma maior resistência e durabilidade além de menores impactos ambientais gerados, já que o assunto atual é sustentabilidade. Desse modo dá para entender a atual busca por novas tecnologias que reduzam ou reforcem significativamente os fatores expostos.

Outro fator que se torna bem relevante para obras desse patamar é a necessidade de vencer grandes vãos, tendo em vista a ambição humana de querer encurtar as distâncias entre seus destinos de forma a otimizar esse caminho, que se aplica muito bem nos casos de grandes pontes. Um ótimo exemplo disso é a Ponte

de Øresund ou Ponte de Öresund, a maior ponte rodoferroviária do mundo, uma incrível construção que conecta a cidade de Copenhagen (Dinamarca) à cidade de Malmö (Suécia), conforme mostra a figura 1, e é dividida em três trechos: saindo da Suécia pela ponte propriamente dita com aproximadamente 7,9 km (quilômetros), passando pela estrada sobre uma ilha artificial de aproximadamente 4,1 km, e logo mais chegando à Dinamarca depois de mais um trecho de 3,5 km de um túnel submerso, totalizando aproximadamente de 15,5 a 16 km de extensão total.

Figura 1- Localização da Ponte Öresund situada entre Malmö e Copenhagen



Fonte: google maps (2017)

Segundo Guimarães (2012) em publicação no blog Pet Engenharia UFJF, a construção teve início em 1995 e prolongou-se até pouco mais da metade de 1999, custou cerca de 1,5 bilhão de dólares e tem um peso total de 82 mil toneladas, com duas funções de transporte: Rodovia e ferrovia, ambos duplicados. Além de outras, as tecnologias utilizadas nos trechos da Ponte de Öresund foram a pré-fabricação de 20 aduelas com dimensões aproximadas de 180 x 40 x 9 m (metros), e conta com um trecho de ponte estaiada com uma das mais longas linhas de cabos e fios do mundo (aproximadamente meio quilômetro de extensão) além do pilar com pouco mais de 200 m de altura e um vão vertical de aproximadamente 60 m de altura para a passagem de embarcações. Mais detalhes nas figuras 2 e 3.

Figura 2- Parte estaiada mais ao fundo da Ponte Öresund



Fonte: Blog do Marcio Morais

Figura 3- Ilha artificial e entrada para parte submersa da Ponte Öresund



Fonte: Blog do Marcio Morais

Outro grande exemplo, dessa vez de uma obra brasileira pertencente ao DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes), é a Ponte Anita Garibaldi, que de acordo com o site da Ponte de Laguna, como também é chamada, é a terceira maior ponte do Brasil, segunda maior ponte estaiada do país e também a

única ponte no mundo estaiada em curva com 2 mastros centrais. O trecho estaiado conta com 400 m de extensão, com seus mastros de 61 m de altura. Além disso a obra conta também com 94 aduelas da tecnologia de pré-moldados para unir o trecho estaiado. Com 2,83 km de extensão, custo total estimado de R\$ 597 milhões de reais e aproximadamente 97 mil metros cúbicos de concreto usinado, está situada sobre a lagoa de Santo Antônio dos Anjos, em Laguna, Santa Catarina.

Esse tema referente aos desafios de lidar com grandes vãos foi tratado no IV congresso de Pontes e estruturas realizada no ano de 2011 dentro do Brazil Road Expo (feira de tecnologia em pavimentação e infraestrutura viária e rodoviária), onde contou com palestrantes brasileiros e estrangeiros que trataram além de outros temas, projeto, construção, recuperação e reforço de pontes. De acordo com a publicação de abril/2011 da revista Pini redigido por Tamaki, Luciana (2011, p. 1) , um deles foi o professor da Universidade Politécnica de Madri e engenheiro Francisco Millanes que falou sobre pontes mistas de aço-concreto, e ainda reforçou que essas estruturas ganham cada vez mais mercado na Europa.

Outro palestrante relevante para esse estudo foi o engenheiro da Enescil Catão Francisco Ribeiro que tratou sobre pontes estaiadas, onde se pode extrair da sua entrevista que a partir de 150 m até 1.200 m de vão, é preciso usar ponte estaiada, que é mais econômica, sendo que até 500 m o tabuleiro deve ser de concreto; de 500 a 750 metros deve ser misto; e, a partir disso, a solução deve ser integralmente em aço na obra estaiada. De acordo com ele é uma ótima opção de caráter estético, mas não é necessariamente a solução mais econômica, mas, como ela apresenta um bom grau de competitividade, com uma maior utilização no mercado, ela pode ficar com custo menor, desse modo podendo ser considerado como uma economia de escala. Segundo ele essa tecnologia está no estado da arte, ou seja, tem a arquitetura mais sofisticada de projeto e construção do mundo e de grande aceitação ao gosto popular, quando se faz uma obra dessas pode se equiparar aos países do primeiro mundo na sua tecnologia de ponta. Hoje, uma ponte estaiada é a que tem menos manutenção que as outras, ela deve durar mais de 100 anos.

Outra grande inovação é utilização de estruturas pré-moldadas e pré-fabricadas na construção de tabuleiros das pontes, apesar de ser uma tecnologia que já é usada desde a parte das estacas, passando pelo bloco, pilares e chegando às vigas. É uma ótima inovação que está ganhando um grande espaço no mercado

brasileiro e internacional, pois há inúmeras vantagens em optar por essa solução. A principal desvantagem é a falta de informação e incentivo pela busca dessa tecnologia, tornando-a, algumas vezes inviável e não competitiva.

Além dessa tecnologia relacionada a construções de pontes, hoje em dia também se têm uma grande preocupação na parte de manutenção e restauração de pontes já construídas. Um ótimo exemplo disso é o sistema ABC (Accelerated Bridges Construction) que já é um padrão adotado nos Estados Unidos, e que aos poucos vai ganhando espaço no mercado brasileiro. Essa inovação não recupera as pontes, mas as substituem por um processo de industrialização baseado em estruturas pré-fabricadas e pré-moldadas, gerando menos transtornos pois além de mais econômico é bem mais rápido do que recuperar estruturas antigas, e por se tratar de estruturas pré-moldadas ou pré-fabricadas gera um impacto ambiental bem menor e maior sustentabilidade. Esse tema foi tratado no Brasil Road Expo 2014, promovido pelo Ibracon juntamente em parceria com a Abcic, em palestra no seminário: “Projeto, construção, sistemas construtivos e manutenção de Obras de Infraestrutura viária e mobilidade urbana”. De acordo com o presidente do Ibracon da época, Júlio Timermann, essa é uma obra que aumenta até a segurança do trabalhador.

Outra inovação tecnológica que veio para solucionar os problemas das juntas de dilatação de obras de arte viárias, de forma estrutural e de fácil execução, é a Laje de Continuidade, que consiste na supressão da junta entre dois vãos vizinhos obtido por meio do prolongamento da laje do tabuleiro na região sobre a travessa de apoio por meio de concretagem, a laje é armada em apenas na direção longitudinal da ponte e engastada nos dois tabuleiros unidos a ela. Além da melhora na economia, durabilidade e estanqueidade proporciona aos usuários da ponte maior conforto pois diminuem o choque formado entre as rodas dos veículos e a junta.

Um fator importante para se entender a falta de interesse e de implantação de tecnologias inovadoras no nosso mercado é justamente a ausência, em partes, do incentivo financeiro do nosso país disponibilizados para pesquisas, onde apenas o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) são relevantes financiadores de inovações no país. Diferente da China e Estado Unidos que lideram o ranking de países que mais fornecem inovações tecnológicas ao mundo, onde recursos financeiros para investir em inovações são facilmente conseguidos em bancos e agências de financiamento.

Para se ter uma noção do cenário brasileiro aos olhos de outros países, de acordo com Santos, Altair (2016) em publicação no site “Massa Cinzenta” com relação ao 9º Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas:

“Palestrantes portugueses, italianos, espanhóis e alemães, que participaram da 9ª edição do Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas (CBPE), lançaram um desafio ao Brasil: está na hora de o país entrar definitivamente na era das pontes “high-tech”, que utilizam materiais como fibras de carbono, juntas de dilatação “inteligentes” e estruturas de concreto protendido menos robustas, mais eficazes e que emitem menos CO2 ao longo de seu ciclo de vida, como destacou o professor da Universidade de Padova, Paolo Franchetti, especialista em energias renováveis.”.

## 2.2 UTILIZAÇÃO DE PRÉ-FABRICADOS E PRÉ-MOLDADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo a norma NBR 9062- “Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado” (ABNT, 2006, p. 3), os elementos pré-moldados são executados fora do local da construção, com controle de qualidade; enquanto os elementos pré-fabricados são um tipo de elemento pré-moldado, executado de maneira industrializada, mesmo em instalações temporárias como no canteiro de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

Para saber de onde teve veio a origem propriamente dita da utilização dos pré-fabricados, temos que relacioná-los com a história da industrialização. Como, na construção civil, a industrialização é sinônimo de avançar, a pré-fabricação é um dos caminhos para esse avanço, com uma maior redução nos custos, aumento de produtividade e maior racionalização e controle de qualidade. Visto isso, o surgimento da pré-fabricação se deu pela necessidade de construção em grande escala e pela carência de mão-de-obra qualificada no período pós-guerra dos países europeus, pois grande parte das construções haviam sido devastadas. Portanto o objetivo inicial foi de racionalizar os materiais, o tempo e o custo além da mão-de-obra.

“Conforme ORDONÉZ (1974) foi no período pós Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, que começou, verdadeiramente, a história da pré-fabricação como “manifestação mais significativa da industrialização na construção”, e que a utilização intensiva do pré-fabricado em concreto deu-se em função da necessidade de se construir em grande escala.” (apud Serra, Ferreira, & Pigozzo, 2005, pg. 3)

No Brasil, a primeira obra relevante com a utilização de pré-fabricação em vários pavimentos, de acordo com VASCONCELOS (2002, apud Sirtoli, 2015, p.17), foi o CRUSP (Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo) localizado na cidade Armando Salles de Oliveira. Trata-se de uma construção de doze prédios com seis pavimentos cada, projetado pelo FUNDUSP (Fundo de Construção da

Universidade de São Paulo), para abrigar estudantes de outras cidades que ingressaram na universidade.

“Segundo REVEL (1973), a pré-fabricação em seu sentido mais geral se aplica a toda fabricação de elementos de construção civil em indústrias, a partir de matérias primas e semi-produtos cuidadosamente escolhidos e utilizados, sendo em seguida estes elementos transportados à obra onde ocorre a montagem da edificação.” (Apud Serra, Ferreira, & Pigozzo, 2005, pg. 3)

Com isso, é possível perceber o amplo leque de sistemas e soluções técnicas para as construções da indústria da pré-fabricação. Contudo seus sistemas estruturais básicos são restritos a apenas 6, são eles: estruturas em esqueleto, estruturas aporricadas, estruturas de painéis estruturais, estruturas para piso, sistemas para fachadas, e sistemas celulares.

Outro fator de suma importância e que não pode deixar de ser comentado são as ligações entre as peças pré-moldadas e pré-fabricadas, que formam um tipo de sistema estrutural, transferindo as forças entre os elementos de forma a conectá-los como um único sistema, e resistindo a forças atuantes diretas e indiretas (como a retração e dilatação resultantes dos efeitos térmicos, ação dos ventos, etc.). Essas ligações devem possuir no mínimo uma boa eficiência estrutural e facilidade na construção das mesmas. De acordo com a NBR 9062 (2001, pg. 7 à 28), há apenas a ligação semirrígida, esta podendo variar de acordo com o seu fator de restrição à rotação (nesse caso representado por @), sendo são elas:

- Isostática: Não transmite momentos fletores nem esforços horizontais entre os elementos, por isso é considerada apenas teórica;
- Rotulada ( $@ < 0,15$ ): Transmite esforços verticais e horizontais entre as peças;
- Semirrígidas ( $@$  entre 0,15 e 0,85): Resiste a uma parte do momento fletor de engastamento das peças;
- Engastadas ( $@ > 0,85$ ): Resiste a todos os esforços solicitantes, pois o nó é concretado, é o caso que mais se assemelha à ligação realizada na obra (moldada in loco).

A ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada) possui um selo de excelência que atesta a qualidade dos processos de produção das fábricas e também a montagem das construções nos canteiros de obra, de modo a favorecer a interação com os demais sistemas de gestão da qualidade das empresas e

construtoras já certificadas nas normas da ISO (*International Organization for Standardization*).

Exemplos de aplicações de pré-moldados na construção civil:

- Construções habitacionais: vigas, pilares, lajes e painéis de fechamento;
- Complexos esportivos: arquibancadas, vigas jacarés, cobertura, escada, fachadas e lajes;
- Saneamento: galerias, tubulações, etc.;
- Obras de infraestrutura: pontes, viadutos, túneis, ferrovias;
- Estruturas metálicas;
- “Banheiros Prontos”;
- Silos;
- Muro de arrimo.

As maiores desvantagens do uso de pré-fabricados estão relacionadas ao transporte das peças, que em alguns casos chega até a inviabilizar economicamente a obra, e também no que se refere às ligações entre os elementos, pois para essa tecnologia é difícil de reproduzir o monolitismo da estrutura, ou seja, sua rigidez. Portanto, frequentemente é quase inevitável o uso de outros materiais moldados *in loco* de forma rentável, como por exemplo a aplicação do concreto e armaduras negativas para garantir a continuidade do elemento, no caso da necessidade de uma ligação mais rígida.

### 2.3 UTILIZAÇÃO DA PRÉ-MOLDAGEM EM PONTES

De acordo com Glauco (1980 apud Civil, Possan, & Penna, 2014), a ideia de ponte veio de antigas civilizações que muitas vezes seguiam os exemplos da natureza para atravessar obstáculos. No caso das pontes, segundo o autor, surgiu ao se observar árvores tombadas à beira do rio dando a ideia da utilização de troncos de madeira apoiados nas margens, possibilitando assim a travessia. Ainda segundo o autor, a construções das pontes em forma de arcos e abóbodas foram mais aprimoradas por volta da idade média, possibilitando a construções com vãos maiores, e a preocupação em melhorar os elementos de fundação teve seu início na época do renascimento. E nessa mesma época que tivemos umas de suas maiores contribuições que foi a invenção de sistemas treliçados na construção das pontes, afirma Bennett (2008).

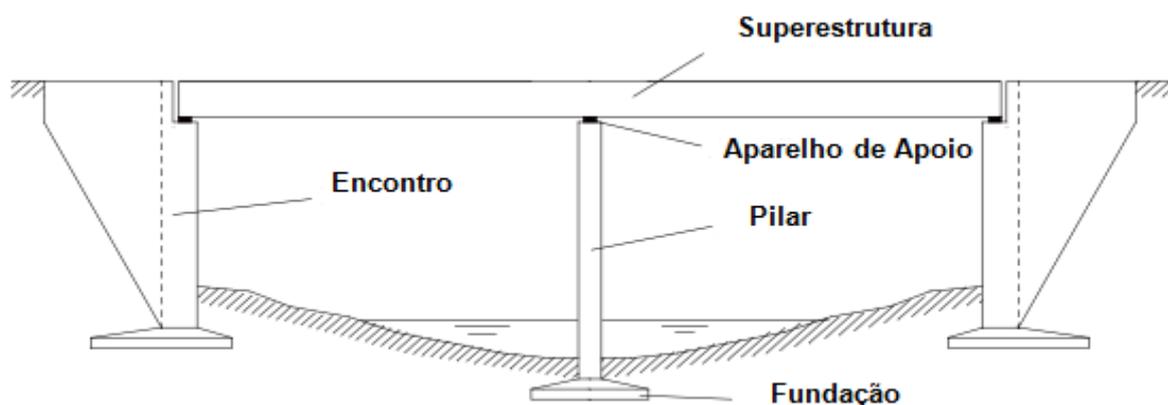
Os materiais usados predominantemente nessa época se resumiam em pedras e madeira, que limitavam a distância dos vãos por conta da resistência oferecidas por eles

e falta de conhecimento, só depois, com o surgimento do aço, que esse porém começou a ser derrubado pois as novas estruturas se tornaram mais leves e resistentes, dando assim maior liberdade construtiva. Segundo Rosenblum (2009), a primeira ponte inteiramente construída em ferro fundido foi a Ponte Coalbrookdale situada sobre o rio Sevem na Inglaterra, construída em 1779 com 59 m de extensão e 31 m de vão. E a pioneira no Brasil foi a ponte construída sobre o rio Paraíba do Sul em 1857 também em ferro fundido e com 30 m de vão em treliça arqueada com mais de 150 m de extensão, até hoje se encontra em serviço depois de uma reforma em 1981.

Aliado à evolução do aço usado na construção de pontes veio, por volta da segunda guerra mundial, o surgimento do concreto armado e protendido, que é um enorme avanço na construção civil pois deu maior liberdade ainda de vencer obstáculos cada vez mais distantes, além da maior segurança e economia de materiais e outros custos. De acordo com Franco (2006), pesquisas relatam que aproximadamente 50% das construções atuais são mistas.

As pontes, assim como algumas outras estruturas, são compostas essencialmente por três elementos, são eles a superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, ilustrado pela figura 4.

Figura 4- Esquema dos elementos nas pontes

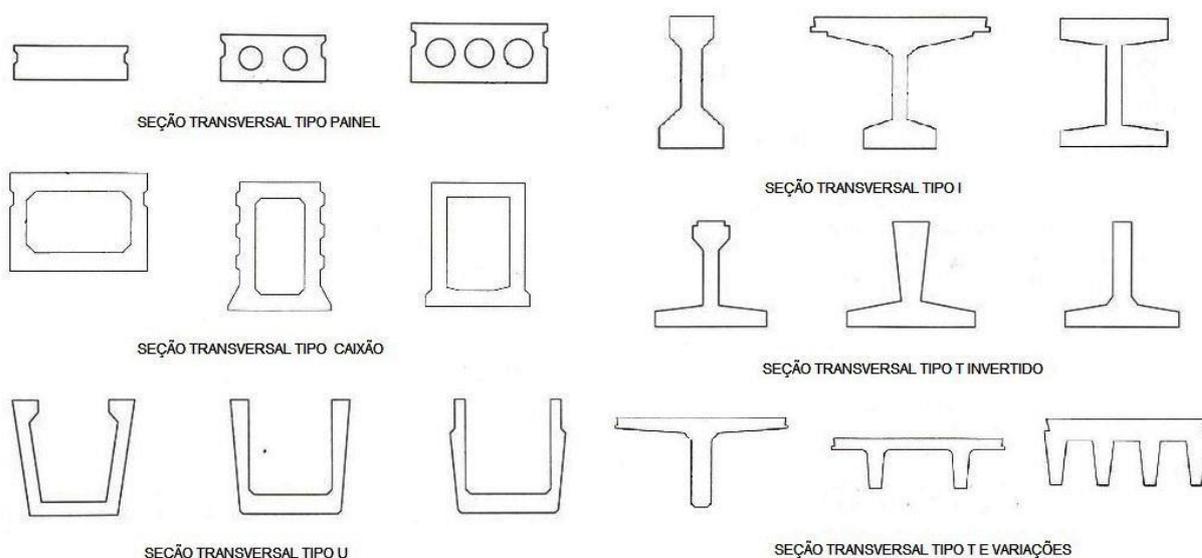


Fonte: El Debs e Takeya (2009 apud Civil et al., 2014)

A superestrutura tem como função principal receber as cargas que trafegam pela ponte diretamente e também de vencer os vãos, a mesoestrutura, constituído pelos pelares e, em certas ocasiões, os aparelhos de apoios servem como intermediador recebendo as cargas provenientes da superestrutura e as conduzindo para as fundações, e finalmente a infraestrutura que objetiva transmitir as cargas recebidas pela mesoestrutura e todos os outros esforços ao o solo e se resume nas fundações.

Basicamente todos os elementos citados no parágrafo acima podem ser construídos fora do seu local definitivo e depois de prontos montados, ou seja, todos podem ser pré-moldados e/ou pré-fabricados. Existem vários tipos de formas para seções transversais da superestrutura como, por exemplo, seções T, I, T invertido, U e et., conforme mostra a figura 5.

Figura 5- Seções de elementos pré-fabricados para a superestrutura de pontes



Fonte: El Debs (2000 apud Civil, Possan, & Penna, 2014)

Para o cálculo das solicitações do dimensionamento de pontes pré-moldadas segue os mesmos padrões das demais pontes, dentre elas estão as cargas móveis, e as ações permanentes, variáveis e excepcionais. As normas relacionadas ao dimensionamento dessas estruturas são:

NBR 7187 (ABNT, 2003): “Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido - Procedimento”;

NBR 6118 (ABN, 2014): “Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento”

NBR 9062 (ABNT, 2006): “Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado”;

NBR 7188 (ABNT, 2013): “Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e Outras Estruturas”;

NBR 10839 (ABNT, 1989): “Execução de Obras de artes Especiais em Concreto Armado e Concreto Protendido”;

NBR 6120 (ABNT, 1980): “Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações”;

NBR 6122 (ABNT, 1996): “Projeto e Execução de Fundações”;

NBR 7480 (ABNT, 2007): “Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado - Especificação”;

NBR 8953 (ABNT, 1992): “Concreto para Fins Estruturais – Classificação por Grupos de Resistência”.

Segundo Diniz (2006 apud Rosenblum, 2009), são muitas as vantagens tecnológicas de métodos construtivos de concretos pré-moldados ou pré-fabricados, em comparação aos demais sistemas construtivos, dentre eles: redução no custo, maior controle de qualidade, menos tempo de execução, menos dependência das condições climáticas, melhor qualidade estética e durabilidade.

Apesar de tudo, como já dito antes a novidade da utilização de pré-moldados na construção de pontes está na parte do tabuleiro da ponte, que nada mais é do que a pista de rolamento, que também é o foco desse trabalho. O encaixe das peças pré-moldadas faz com que a estrutura se ligue a toda estrutura de vigas, transformando-a em uma só estrutura. Um dos maiores motivos dessa tecnologia ganhar espaço em muitas obras do mercado brasileiro é por causa das limitações impostas por licenças ambientais sob a instalação de grandes canteiros de obras, um grande exemplo dessa afirmação foi a construção do Rodoanel, situado em São Paulo-Sp com 44 km de extensão, onde foram envolvidas restrições ambientais que foram resolvidas ao se adotar a produção de placas pré-fabricadas de concreto armado para compor os tabuleiros da ponte, onde a empresa responsável pela produção se encontrava a 70 km de distância.

Pelos conhecimentos adquiridos pelo estudo até o presente momento desse projeto de pesquisa, pode-se afirmar que existem 3 principais modos de estruturas de tabuleiros pré-moldados ou pré-fabricados que são usados na construção de pontes, dentre eles estão os vãos inteiros, as aduelas pré-Moldadas e as vigas juntamente com as placas, ambas pré-fabricadas.

Dentro das estruturas constituídas por vãos inteiros pré-fabricados só se aplicam as situações em que as distâncias entre os obstáculos a serem vencidos estão nas extremidades, ou seja, as muito pequenas e as bem grandes. No primeiro caso se classificam os pontilhões pré-fabricados que nada mais são do que pequenas pontes, geralmente com apenas um vão, usadas principalmente para pequenos obstáculos, como riachos, córregos, canais e valetas, concluindo-se que são mais frequentemente usadas em ambientes rurais. Podem ser formadas por duas ou mais vigas longitudinais e um tabuleiro, podendo também ser equipados

com guarda-corpos ou balaústres laterais, sempre com a preocupação de permitir uma altura livre suficiente, no caso de riachos ou córregos, para a passagem da água no tempo das cheias. Já para os grandes obstáculos são utilizados vãos inteiros pré-fabricados que só se tornam viáveis quando essas distâncias são significativamente grandes, quando o corpo de água (rios, lagos e mares) comporta os enormes equipamentos para transporte e fixação das peças (como por exemplo barcos e balsas), e quando a distância entre a empresa responsável e a obra não inviabilize o empreendimento, portanto necessitando de uma análise econômica mais minuciosa

A tecnologia de construção de pontes com aduelas pré-fabricadas teve seu surgimento em meados dos anos sessenta concebida na França, sofrendo, desde lá, uma enorme evolução. Além de outras, uma das vantagens dessa tecnologia é justamente a diferença entre o sistema pré-moldado para o pré-fabricado, já mencionado e tratado aqui em referência à NBR 9062 (ABNT, 2006), que está relacionado diretamente com a melhor qualidade de execução, materiais e de tolerâncias, pois se trata de uma produção, na maioria das vezes, em fábrica ou em condições especiais em canteiros de obra. Conforme Tarrataca (2009), a seguir serão apresentados os métodos construtivos para a montagem e fixação das peças pré-fabricadas ou pré-moldadas em forma de aduelas:

- Construção por aduelas tramo-a-tramo ou avanços progressivos (indicado para vãos entre 40 e 70 m): compreende a construção tramo a tramo em que todas as aduelas do vão são posicionadas, ficando suspensas, através de lançadeira ou cimbre, posteriormente são aplicadas a um pré-esforço longitudinal dando-lhes rigidez estrutural e finalizando com o posicionamento final nos seus apoios definitivos. Figura 6;

Figura 6- Lançadeira superior de aduelas pelo método de avanços progressivos



Fonte: VSL Internacional apud Tarrataca (2009)

- Construção por avanços sucessivos (indicado para vãos entre 50 m e 150 m): consiste essencialmente na montagem em sequência dos pares das peças fabricadas simetricamente a partir do pilar, sendo ligadas a cabos de pré-esforço, finalizando com a concretagem do meio do vão em uma peça denominada aduela de fecho e com a aplicação de mais um sistema de pré-esforço. Figura 7;

Figura 7- Lançadeira superior de aduelas pelo método de avanços sucessivos

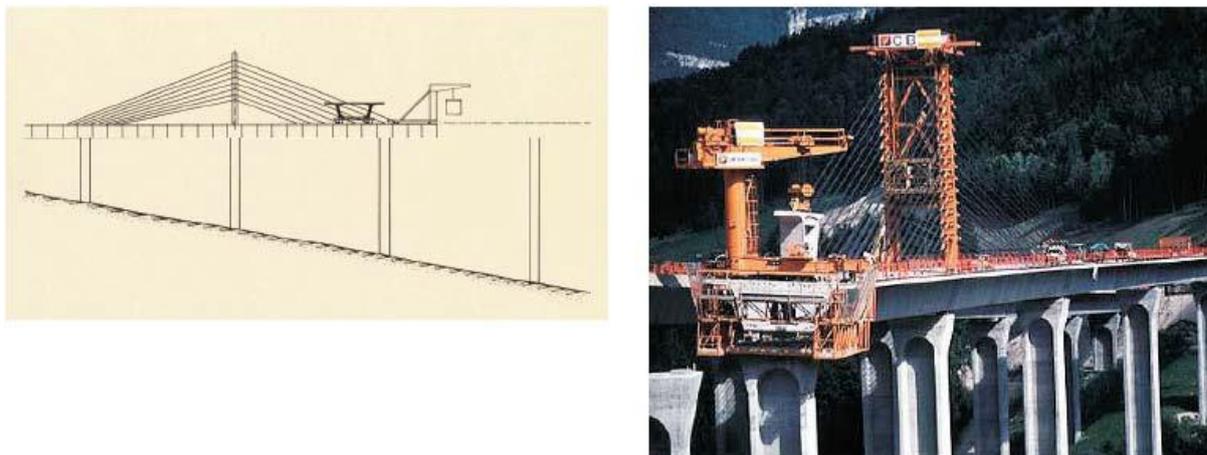


Fonte: VSL Internacional apud Tarrataca (2009)

- Construção com recurso a tirantes: esses tirantes podem ser provisórios, que consiste na montagem sucessiva das peças por intermédio de uma grua ou guincho

de elevação, sendo pré-esforçadas na sua posição final temporariamente até que ao final se aplica o pré-esforço longitudinal definitivo; como também podem ser definitivos (indicado para vãos entre 150 e 450 metros), em que só se muda, basicamente, a retirada ou não dos tirantes. Figura 8

Figura 8- Construção com recurso a tirantes provisórios



Fonte: JACQUES (2004, APUD Tarrataca, 2009).

Finalmente chegamos à utilização de vigas pré-fabricadas (geralmente protendidas também) e lajes como tabuleiro na construção de pontes que teve seu início na década de 30 do século 20. Porém, outro período importante é a década de 50 onde se teve um maior avanço da proteção, transporte e montagem das peças. Essa tecnologia é mais indicada para uma faixa de vãos de no máximo 40 m, limitada pelos equipamentos de transporte e montagem. Após a proteção parcial ou total, a montagem dos elementos, e a fixação das juntas vêm a concretagem das pré-lajes finas que também são pré-fabricadas e apoiadas nas mesas das vigas. De acordo com Pinho, Regis & Araújo (2009), o emprego da tecnologia das vigas protendidas pré-moldadas com continuidade acarreta uma série de vantagens, dentre as principais estão a segurança estrutural e a diminuição da necessidade de manutenção, porém, há uma maior necessidade de mão-de-obra especializada, e de maiores conhecimentos pelos responsáveis da obra principalmente na parte de projeto e planejamento da obra.

A construção da ponte Rio-Niterói é um grande exemplo do que que foi exposto anteriormente no que se refere aos modos de estruturas dos tabuleiros, essa obra foi construída entre 1969 e 1974 com 13,3 km de extensão, chamada oficialmente de Ponte Presidente Costa e Silva, sendo considerada na época a segunda maior ponte do mundo e atualmente ocupa a sexta posição. Para se ter

noção de sua dimensão, a peça pré-fabricada do vão central teve que ser transportada por dois guindastes, cada um em uma balsa, e o içamento de cada peça levou 4 dias inteiros, como mostra a figura 9, que foi toda controlado por um imenso painel.

Figura 9- Içamento do vão central da Ponte Rio-Niterói



Fonte: O Globo

Foram montadas 3.250 aduelas pré-fabricadas na parte sobre o mar (figura 10), e nas partes sobre o solo foram montadas vigas barrigudas pré-fabricadas, como mostra a figura 11. A obra custou US\$ 674 milhões e foram gastos 560 mil metros cúbicos de concreto.

Figura 10- Montagem das aduelas pré-moldadas da Ponte Rio-Niterói



Fonte: EcivilUFES

Figura 11- montagem das vigas pré-fabricadas da Ponte Rio-Niterói



Fonte: O Globo

#### 2.4 PONTE FERNANDO HENRRIQUE CARDOSO

Também conhecida como Ponte FHC ou ainda Ponte da Amizade e Interação, foi inaugurada no dia 27 de setembro de 2002, e têm 8 quilômetros de extensão, ligando Palmas ao distrito de Luzimangues (Porto Nacional) no estado do Tocantins pela rodovia estadual TO-080, e custou R\$ 146 milhões ao governo estadual. A construção é constituída por três pontes e quatro aterros e faz travessia sobre o lago formado pela UHE Luís Eduardo Magalhães a 26 km de Palmas e com 630 km<sup>2</sup> de área alagada, sua maior ponte tem 1000 m de comprimento e as outras duas têm 100 m cada.

A ponte foi construída no estilo *causeway* que carrega em sua etimologia, ligada à sua função, de origem inglesa que pode ser construída em locais de barras, geralmente em lagos ou mares, sobre quebra mares e até mesmo sobre a areia, muitas dela também podem ter a função de diques. Para a sua contenção foram usados gabiões em suas cabeceiras.

Os gabiões tiveram o seu desenvolvimento na final do século 19 pelos italianos, que tinham como intenção de proteger a margem de um rio próxima da cidade de Bolonha, onde a melhor solução que puderam adotar foi encher uma rede

de aço com pedras britadas em forma de sacos. Nas figuras 12, 13 e 14 estarão ilustradas fotos sobre sua construção e aparência atual respectivamente.

Figura 12- Construção do vão central da ponte FHC



Fonte: wikimapia.org (2017)

Figura 13- Construção da Ponte FHC



Fonte: Secom (Secretaria de comunicação Social do Tocantins, 2001)

Figura 14- Ponte FHC atualmente



Fonte: wikimapia.org (2017)

### 3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em quatro fases, na qual se segue obedecendo aos objetivos específicos, sendo elas: Pesquisa e estudo dos métodos e técnicas construtivas; Caracterização e descrição dos objetos de estudo; Conhecimento das características do projeto de duplicação da ponte FHC; Conclusão e aplicação do estudo.

#### 3.1 PESQUISA E ESTUDO DOS MÉTODOS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

O primeiro passo foi a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre:

Artigos científicos e livros que tratam sobre os métodos e suas respectivas técnicas construtivas;

Normas técnicas referentes a obras de arte viárias com o uso de pré-moldados, e também normas relacionadas com pré-moldados e com as pontes;

Obras de pontes que utilizaram esse tipo de tecnologia enfatizando as características da obra que incentivaram ou forçaram a escolha do método e dos processos construtivos, dificuldades encontradas na sua implantação, adaptações de projeto e execução que foram necessárias, técnicas construtivas e alternativas encontradas para cada obstáculo;

Foram levantadas informações relevantes em empresas brasileiras, que trabalham com esse tipo de tecnologia em seus sites, e quando necessário foi feito contato via e-mail ou por telefone. Informações do tipo: todas as possíveis e ao alcance sobre o envolvimento da empresa em obras; tipos de produtos ofertados (pontilhões, aduelas, vãos inteiros, etc.); serviços prestados (até que ponto há a participação da empresa no projeto e construção, disponibilização de equipamentos e mão de obra especializada); procura, oferta e demanda para fins de conhecimento.

Após pesquisa bibliográfica, o estudo foi reforçado explorando livros e artigos científicos que tratam sobre o assunto nas bibliotecas e instituições de ensino superior espalhadas em Palmas-TO e região, tentando atender aos mesmos critérios da pesquisa na internet feita anteriormente.

Dentro de todo o material encontrado foi separado, analisado e organizado apenas as informações relevantes, relacionadas aos critérios de pesquisa já tratadas anteriormente, suficientes para ter tido o entendimento sobre construções de artes viárias pré-moldadas ou pré-fabricadas durante o tempo de obra e para se utilizar em uma breve introdução, como histórico, construções pioneiras, evolução e etc.; além de todo o material que se refere única e exclusivamente a métodos de pontes

pré-moldadas, e dentro dos métodos, seus respectivos processos construtivos. Foi armazenada toda essa parte da pesquisa em uma pasta no notebook de modo organizado, onde estão outras pastas com cada método e processo já descoberto, para posteriormente ser exposto junto à segunda parte da metodologia.

### 3.2 CARACTERIZAR E DESCREVER OS OBJETOS DE ESTUDO

Foi caracterizado e descrito cada método condizendo com os critérios utilizados para a pesquisa, evidenciando sua importância, histórico, vantagens, desvantagens, características de implantação, exemplos de construções, etc. O mesmo valeu para os processos construtivos, onde foram enfatizados os fundamentos do emprego da determinada técnica, vantagens e desvantagens, desafios de implantação e suas soluções, e a necessidade de mão de obra especializada e equipamentos especiais.

Os dados foram expostos em forma de tópicos, onde primeiro foi feita uma breve introdução sobre o uso de pré-moldados na construção civil e fechando em obras de arte viárias, dando posteriormente início ao conteúdo desse trabalho. Primeiramente em cada tópico foram caracterizados os métodos construtivos de pré-moldagem utilizados na construção de pontes, de acordo com o primeiro parágrafo. Dando segmento, seus processos construtivos foram descritos em detalhes, também de acordo com o primeiro parágrafo.

### 3.3 CONHECIMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DE DUPLICAÇÃO DA PONTE FHC

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as características relevantes que interferem diretamente na decisão de qual método e etapas construtivas mais se adequam à duplicação da ponte FHC, como: extensão total entre margens, possibilidade de tráfego de grandes embarcações no lago, empresas menos distantes que trabalhem com pré-fabricados para pontes, análise do trânsito e da localização global para trajetória de transporte das peças, etc.

Apesar de não conseguir total sucesso, a pesquisa foi aprofundada solicitando informações à órgãos públicos (CREA, prefeitura, secretaria de infraestrutura, entre outros), instituições de ensino, pessoas envolvidas na construção civil (profissionais da área, professores, alunos, etc.) sobre a construção da ponte e as empresas responsáveis pela obra. Suas propriedades foram relacionadas à sua possível duplicação empregando a pré-moldagem ou a pré-

fabricação. Finalmente seus aspectos relevantes que interferem diretamente na conclusão do objetivo desse trabalho expostos.

### 3.4 CONCLUSÃO E APLICAÇÃO DO ESTUDO

Identificados e separados, os métodos e técnicas construtivas que se adequariam às características da ponte, usando como critério a viabilidade construtiva. Isso foi feito através da análise das características construtivas de cada método e também da tabela de fatores que podem viabilizar ou inviabilizar a duplicação da ponte com essas tecnologias.

A apresentação dos dados e da conclusão foi exposta em forma de fichamento dentro de uma tabela, onde: Na primeira coluna vão estão os métodos separados anteriormente, e na segunda os fatores que viabilizam a obra com a utilização da pré-moldagem, e na terceira os fatores que inviabilizam a obra. Na primeira linha estão os títulos mencionados das colunas e a partir daí estão seus respectivos métodos.

A escolha do método juntamente com a técnica construtiva foi dada de acordo com uma maior viabilidade construtiva, menos dificuldades na sua implantação, fabricação, transporte das peças, necessidade de mão de obra especializada e equipamentos especiais, etc. Essa escolha se deu por meio de uma análise minuciosa de todos os fatores mencionados e também dos conhecimentos adquiridos durante todo o estudo. Junto do método e da técnica escolhidos vai estar apresentado os motivos da minha decisão de forma detalhada e uma breve descrição de como será feita a obra de acordo com os métodos e técnicas construtivas estudadas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Glauco (1980 apud Civil, Possan, & Penna, 2014), a ideia de ponte veio do costume das antigas civilizações de seguir os exemplos da natureza para atravessar obstáculos, que nesse caso, surgiu ao observar árvores tombadas à beira do rio incentivando assim a ideia de se usar troncos de madeira apoiados nas margens para a travessia.

O conjunto de pontes e viadutos é conhecido pelo termo “Obras de Arte Viárias”, sendo que as pontes são indispensáveis sempre que precisamos vencer um obstáculo natural e os viadutos podem ser considerados como um tipo de ponte urbana construída sobre uma via, que visa não interromper o fluxo rodoviário ou ferroviário.

As pontes, assim como algumas outras estruturas, são compostas essencialmente por três elementos, sendo eles a superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. Onde a superestrutura tem como função principal receber as cargas diretamente e de vencer os vãos; A mesoestrutura, constituído geralmente por pilares e aparelhos de apoios, recebe as cargas provenientes da superestrutura e as conduz para as fundações; e a infraestrutura que objetiva transmitir as cargas recebidas pela mesoestrutura e todos os outros esforços ao o solo e se resume nas fundações. Basicamente todos esses elementos acima podem ser pré-moldados e/ou pré-fabricados.

Segundo a norma NBR 9062- “Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado” (ABNT, 2006, p. 3), os elementos pré-moldados são executados fora do local da construção, com controle de qualidade; enquanto os elementos pré-fabricados são um tipo de elemento pré-moldado, executado de maneira industrializada, mesmo em instalações temporárias como no canteiro de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

Apesar dessa tecnologia já ser usada desde a parte das estacas, passando pelo bloco, pilares e chegando às vigas, a novidade da utilização de pré-moldados na construção de pontes está na parte do tabuleiro da ponte, que nada mais é do que a pista de rolamento, onde existem vários tipos de formas para suas seções transversais como, por exemplo, seções T, T invertido, I, U e et. A utilização de pré-moldados e pré-fabricados na construção dos tabuleiros das pontes está ganhando um grande espaço no cenário mundial e brasileiro nas últimas décadas e está

vigorosamente ligada ao desenvolvimento tecnológico do país, devido suas inúmeras vantagens.

Uma das desvantagens, de acordo com os conhecimentos adquiridos durante o estudo, é a falta de informação e incentivo pela busca dessa tecnologia, tornando-a, algumas vezes inviável e não competitiva. Outra que também não pode ficar de fora esta relacionada ao transporte das peças, que em alguns casos chega até a inviabilizar economicamente a obra, e também no que se refere às ligações entre os elementos, pois para essa tecnologia é difícil de reproduzir o monolitismo da estrutura, ou seja, sua rigidez. Portanto, frequentemente é quase inevitável o uso de outros materiais moldados *in loco* de forma rentável, como por exemplo, a aplicação do concreto e armaduras negativas para garantir a continuidade do elemento, no caso da necessidade de uma ligação mais rígida.

No que se diz entre as ligações das peças pré-moldadas e pré-fabricadas é que essas ligações devem possuir no mínimo uma boa eficiência estrutural como também facilidade na construção das mesmas. Essas ligações formam um tipo de sistema estrutural, transferindo as forças entre os elementos de forma a conectá-los como um único sistema, e resistindo a forças atuantes diretas e indiretas (esforços, carregamentos, retração, dilatação, ação dos ventos, etc.). De acordo com a NBR 9062 (2001, p. 7-28), há apenas a ligação semirrígida, esta podendo variar de acordo com o seu fator de restrição à rotação (Isostática, Rotulada, Semirrígidas, Engastadas).

A ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada) possui um selo de excelência que atesta a qualidade dos processos de produção das fábricas e também a montagem das construções nos canteiros de obra, de modo a favorecer a interação com os demais sistemas de gestão da qualidade das empresas e construtoras já certificadas nas normas da ISO (*International Organization for Standardization*).

#### 4.1 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Os métodos construtivos de pré-moldados e pré-fabricados em pontes se aplicam quando há necessidade de agilizar o processo construtivo, de maior eficiência na construção e melhor controle de qualidade e resistência, sendo que a parte dos métodos e das etapas construtivas se inicia desde a preparação dos apoios e a fabricação das peças no canteiro de obra central ou da peça feita na fábrica, até o transporte e montagem do pré-moldado na ponte. No entanto, a

primeira etapa efetiva para um projeto de uma ponte pré-moldada, é a própria escolha do método a ser utilizado de acordo com as características solicitantes da obra e de sua localização, tanto micro como macro, levando em consideração aspectos relevantes e que vão inferir diretamente nessa tomada de decisão.

Após conhecida as características do projeto e selecionado o método que mais se adequa às características solicitantes da obra (seja por fatores econômicos, de tempo, impacto ambiental gerado ou até mesmo estética e geometria), têm-se a tomada de decisão em se usar a pré-moldagem ou a pré-fabricação, ou seja, de se contratar ou não uma empresa especializada na fabricação, no transporte e/ou montagem das peças

#### **4.1.1 VÃOS INTEIROS**

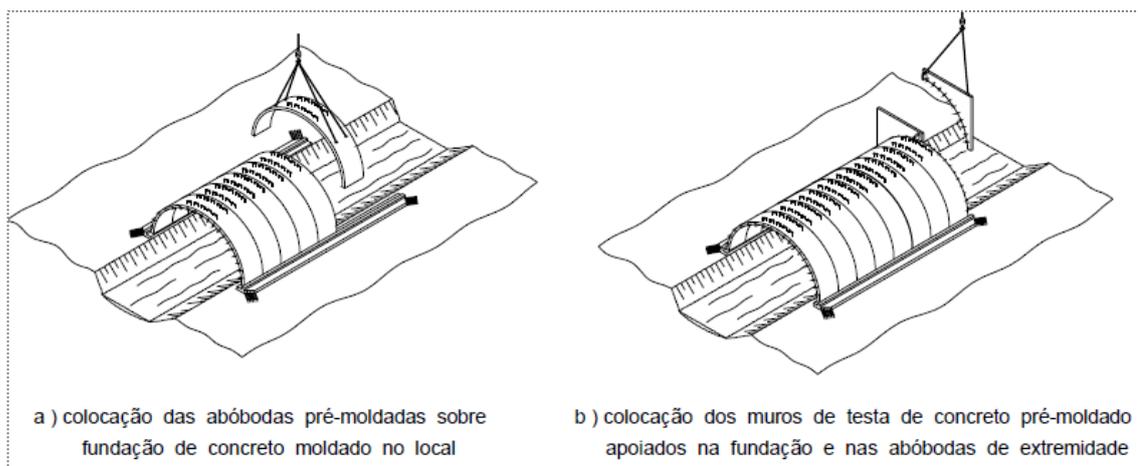
Dentro das estruturas constituídas por vãos inteiros, como o próprio título já diz, consiste em um vão inteiro, que normalmente já está todo completo (pista de rolamento, faixas, guarda corpo, etc.) antes de sua montagem definitiva. Os métodos construtivos para esse tipo de tabuleiro só se aplicam em situações em que as distâncias entre os obstáculos a serem vencidos estão nas extremidades, ou seja, são muito pequenas ou bem grandes.

No caso de pequenas distâncias a serem vencidas, se classificam os pontilhões pré-fabricados que nada mais são do que pequenas pontes, geralmente com apenas um vão, usadas principalmente para pequenos obstáculos, como riachos, córregos, canais e valetas, concluindo-se que são mais frequentemente usadas em ambientes rurais. Podem ser formados por duas ou mais vigas longitudinais e um tabuleiro, podendo também ser equipados com guarda-corpos ou balaústres laterais, sempre com a preocupação de permitir uma altura livre suficiente, no caso de riachos ou córregos, para a passagem da água no tempo das cheias. Esse tipo de tabuleiro é comumente mais usado em sua forma pré-fabricada, pois como são peças relativamente pequenas de acordo com seu uso, o transporte se torna mais viável em frente a um controle de qualidade maior nas indústrias, e a uma dificuldade na execução em relação a imprevistos e materiais por se tratar de ambientes rurais geralmente.

Para esse tipo de estrutura é recomendável a utilização de pontilhões em abóbodas e muros pré-moldados que, segundo El Debs (1999, p. 1), têm a grande vantagem de ser um sistema estrutural muito oportuno em relação a distribuição de esforços a flexão, somado à viabilidade que o uso do concreto pré-moldado trás, e

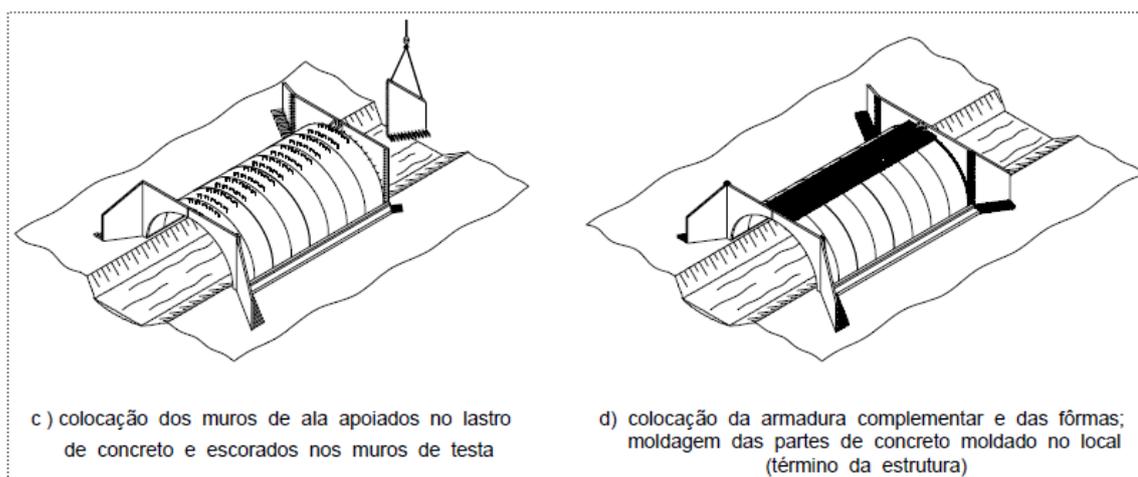
também no que diz respeito a estética. Onde, ainda segundo o autor (1999, p. 4), sua ideia básica construtiva se resume na utilização de componentes pré-moldados em forma de arco postos sobre uma base de concreto moldado no local (fundação), com armaduras salientes na região do coroamento e na região externa para prover uma solidarização entre as peças em si e entre as peças de extremidades com os muros de testa e de ala, respectivamente. Seu processo de execução está ilustrado nas figuras 16, 17 e 18.

Figura 15- Etapas construtivas a e b, início da construção.



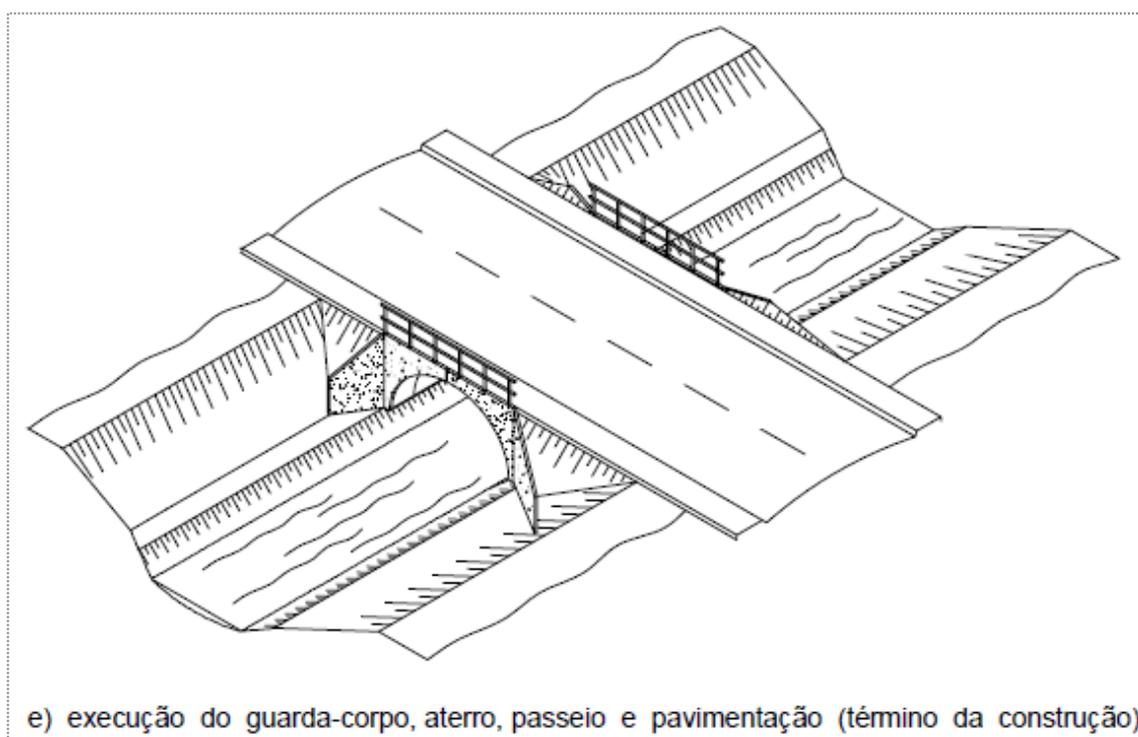
Fonte: El Debs (1999, p. 5).

Figura 16- Etapas construtivas c e d, término da estrutura.



Fonte: El Debs (1999, p. 5).

Figura 17- Etapa construtiva e, término da construção.



Fonte: El Debs (1999, p. 5).

Já para os grandes obstáculos são utilizados vãos inteiros pré-fabricados ou pré-moldados que só se tornam viáveis quando essas distâncias são significativamente grandes e quando os corpos de água (rios, lagos e mares) comportam os enormes equipamentos para transporte e fixação das peças (como barcos e balsas), e quando a distância entre a empresa responsável e a obra não inviabilize o empreendimento. Concluindo-se que é requisitado um estudo minucioso de cada caso, levando em conta, dentre esses e outros fatores (como percurso da peça à obra, maquinário, etc.), as viabilidades construtiva, econômica e etc.

#### 4.1.1.1 Exemplos construtivos

Dentro dos exemplos de construção que adotaram esse tipo de estrutura se destacam dois, sendo que o primeiro tem mais notoriedade pelos equipamentos e técnicas construtivas avançadas, e o outro pela tecnologia nacional disponível na época, sendo que:

O primeiro exemplo construtivo está mais relacionado ao tipo de técnica construtiva utilizada para a construção de pontes pré-moldadas, mais especificamente ao tipo de equipamento que é usado para tal tarefa. Que se trata de um veículo como uma espécie de guindaste rolante que faz todo o processo parecer

bem fácil. Ultimamente a China vem sendo conhecida por suas proezas em construir infraestrutura, e ela tem usado esse equipamento como um verdadeiro trunfo na construção e reforma de pontes dando mais uma amostra do que são capazes.

Estamos nos referindo à *Segmental Bridge Launching Machine*, que em português significa “Máquina de Lançamento de Ponte Segmentada”, ou também pode ser conhecida simplesmente como SLJ900/32. De acordo com Kleina (2016, p. 1), esse gigante da engenharia pesa 580 toneladas, 90 metros de comprimento e 7 metros de largura, sendo quatro conjuntos de 16 rodas para ajudar na locomoção, com cada seção podendo girar em até 90°. A SLJ900/32 se move de forma coordenada para erguer uma ponte ou viaduto, primeiro equilibrando o seu peso sobre as vigas, e depois colocando os segmentos da via. O mérito dessa criação é do Beijing Wowjoint Machinery Co e a ponte mais famosa construída por eles com a máquina é a que conecta as cidades de Chongqing e Wanzhou, uma das áreas mais populosas da China.

De um modo simplificado primeiramente uma parte pré-fabricada do tabuleiro é acoplada na área inferior do veículo; em seguida, se dirige até a borda do que já foi levantado e projeta seu próprio eixo até o próximo pilar já erguido (figura 18); e depois de uma pequena configuração de trabalhadores humanos, o segmento da pista é então posto em seu posicionamento final (figura 19).

Figura 18- Chegada da SLJ900/32 à borda já construída e projeção de seu eixo ao próximo pilar



Figura 19- Trabalhadores configurando a SLJ900/32 e posicionamento final da peça.



Fonte: wowjoint.com

como explica o Engineering.com (apud Ventura, 2015, p. 1):

“A máquina se desloca para a extremidade da ponte e se estende até a próxima viga com uma via temporária. Uma vez que a via esteja estável, a máquina se puxa para fora rebocando o novo segmento da ponte. Depois que a SLJ900/32 estiver totalmente estendida e chegando à outra viga, a máquina desce o segmento da ponte, encaixando-o no lugar para a equipe de construção começar seu trabalho. Após o segmento ficar firme, o processo pode ser repetido.”

O segundo exemplo construtivo é a já conhecida construção da ponte Rio-Niterói que, segundo Piffer (2011) em publicação no blog EcivilUFES, atravessa a Baía de Guanabara e foi construída entre 1969 e 1974 com 13,290m de extensão, sendo 8.84m sobre o mar, 26.60m de largura, com seis faixas de rolamento e dois acostamentos, de 1,80m e altura máxima de 72m, acima do mar, foi considerada, na década de 70, a Oitava Maravilha do Mundo. Foi chamada oficialmente de Ponte Presidente Costa e Silva, sendo considerada na época a segunda maior ponte do mundo e atualmente ocupa a sexta posição. Entre seus métodos construtivos estão a pré-moldagem de 3.250 aduelas na parte sobre o mar (figura 10), e nas partes

sobre o solo foram montadas vigas barrigudas pré-fabricadas, como mostra a figura 11.

Com o uso de guindastes, acoplados na treliça lançadeira que se apoiava na base dos pilares, foram erguidas as aduelas pré-moldadas que formaram grande parte das duas pistas da ponte. As montagens das aduelas avançaram na direção do Rio para Niterói e de Niterói para o Rio, encontrando-se nos três vãos centrais, entre os quatro pilares mais altos da estrutura. Para esse vão central da ponte, que precisava ter distância maior entre os pilares para os grandes navios passarem, as aduelas pré-moldadas não atendiam, pois eram de difícil instalação em vãos muito grandes. Então a saída foi usar gigantescos blocos metálicos que, somados, chegavam a 850 metros aproximadamente.

Segundo Piffer (2011, p. 1) a estrutura foi toda fabricada na Inglaterra em módulos, que chegaram ao Brasil por transporte marítimo, sendo uma estrutura de aço com chapa de 60 mm, um comprimento de 848m, incluindo os vãos de 200m+300m+200m respectivamente e mais dois trechos adicionais de 74m, e peso total aproximado de 3,500 toneladas. Para a sua construção se teve uma linha de montagem especial na ilha do caju na própria baía de Guanabara. Para se ter noção de sua dimensão, a peça pré-fabricada do vão central teve que ser transportada por dois guindastes, cada um em uma balsa, e o içamento de cada peça levou 4 dias inteiros, que foi controlado por um imenso painel, como mostra as figuras 20 e 21.

Figura 20- Içamento do vão central de 200 metros



Fonte: EcivilUFES

Ambos os vãos tiveram o controle mecânico para o içamento das peças, sendo feito de modo rigorosamente simétrico e consecutivo para evitar esforços não planejados.

Figura 21- Içamento do vão central de 300 metros



Fonte: EcivilUFES

Dentre as dificuldades e os desafios de engenharia relevantes encontrados para esse método, destacam-se:

- Assegurar 300 metros de canal navegável no vão central (canal principal) e mais dois secundários de 200 metros (largura);
- Grande vazão de veículos;
- Limitações de altura máxima por aviões (72m) que sobrevoavam as pontes e mínima por navios (50m) que passavam por debaixo do vão;
- Para evitar as águas mais profundas da baía foi necessário fazer uma curva na ponte;
- Navegar com a peça em umas das baías mais movimentadas do mundo, que foi preciso um minucioso trabalho de sincronização entre os engenheiros e a autoridades portuárias;
- Uma tempestade com ventos fortes ameaçou a integridade da estrutura e dos pilares, o trabalho teve de ser feito a noite quando as águas estavam calmas e os ventos mais fracos;

- Toda a estrutura precisou ser observada 24 horas por dia para que fossem feitas as alterações necessárias causadas pelas mudanças de temperatura na peça.

#### **4.1.2 ADUELAS**

A tecnologia de construção de pontes com aduelas pré-fabricadas teve seu surgimento em meados dos anos sessenta concebida na França, como resultado da urgência de se empregar métodos construtivos de alto rendimento, mecanização e menor quantidade de mão-de-obra especializada, sem contar na necessidade de uma boa adaptabilidade para construir em ambientes densamente urbanizados. Assim, tornando-se possível a execução de superestruturas em menores períodos de tempo e com menores custos. (TARRATACA, 2009, p. 8)

Ainda segundo o autor, desde criação essa tecnologia sofreu uma enorme evolução, e atualmente está bastante divulgada em países desenvolvidos (sobretudo nos Estados Unidos, Ásia e Europa). Contudo, em muitos outros países, como por exemplo Portugal, esta tecnologia ainda se encontra pouco divulgada.

Além de outras, uma das vantagens dessa tecnologia é justamente a diferença entre o sistema pré-moldado para o pré-fabricado, já mencionado e tratado aqui em referência à NBR 9062 (ABNT, 2006), que está relacionado diretamente com a melhor qualidade de execução, materiais e de tolerâncias, pois se trata de uma produção, na maioria das vezes, em fábrica ou em condições especiais em canteiros de obra.

Esse método pode ser anteposto pela possibilidade em confeccionar as peças pré-moldadas no próprio canteiro de obras, e pela menor dificuldade em transportá-las até o local onde vão ser montadas, dado que suas peças são relativamente menores em relação a outros métodos, principalmente na direção longitudinal. Dispensando, assim, a necessidade de alguns equipamentos de transporte de grande porte necessários nos demais métodos, exceto em casos especiais em que são utilizadas aduelas relativamente grandes. Geralmente a aduelas são protendidas longitudinalmente depois que estão em sua posição final. Muitas vezes são usadas colas à base de epóxi entre elas, com o objetivo de servir para lubrificação da superfície, diminuir e impermeabilizar as imperfeições das juntas entre as aduelas, e ajudar na transmissão das tensões cisalhantes.

Nesse método o primeiro trecho a ser construído, que é chamado de aduela de partida ou arranque, normalmente é moldado “in loco” e sua fôrma é escorada

sobre seu apoio. As peças devem ser produzidas e concretadas de modo a garantir seu perfeito encaixe, sendo que cada peça concretada na etapa anterior serve de fôrma para a próxima. No caso das aduelas dos vãos é muito recomendado que os comprimentos das peças devam ser constantes para facilitar a fôrma.

Este método construtivo é mais recomendado quando há dificuldades de escoramento direto, a necessidade de vencer grandes vãos (entre 60m e 240m), construção de viadutos sem prejudicar a fluidez do trânsito em zona urbana. Conforme Tarrataca (2009, p.) e Rosenblum (2009, p.), a seguir serão apresentados os métodos construtivos para a montagem e fixação das peças pré-fabricadas ou pré-moldadas em forma de aduelas.

#### 4.1.2.1 Construção por avanços progressivos

Este processo construtivo também é conhecido como construção tramo a tramo, e é indicado para faixa de vãos entre 40 e 50 m, porém já foram realizados vãos de até 70 m. Sendo recomendado o uso de vãos até 50 metros para evitar a execução de pilares ou tirantes provisórios.

A sua construção pode ser resumida basicamente como um processo em que todas as aduelas do vão são posicionadas, ficando suspensas temporariamente através de lançadeira ou cembre, para que posteriormente sejam aplicadas a um pré-esforço longitudinal dando-lhes rigidez estrutural e finalizando com o posicionamento final nos seus apoios definitivos, onde podem ser simplesmente apoiadas ou contínuas. Este processo apresenta como vantagens a eliminação do escoramento, redução da de fôrmas, menor de mão de obra, e maior controle das frentes de trabalho em relação ao avanço sucessivo.

Como já indicado anteriormente, existem alguns equipamentos que são providos para este tipo de construção, sendo eles:

- Construção com recurso a lançadeira superior de aduelas (Figura x em exemplos construtivos): É considerado como sistema mais comum de desse método construtivo, em que consiste no uso de uma lançadeira numa posição relativamente superior à superestrutura, em que é posicionada sobre o vão a construir, apoiando-se nos pilares. As aduelas são montadas em suas respectivas posições finais através de um guindaste equipado de tirantes verticais em que, por intermédio, ficam suspensas. Posteriormente todo o vão é assembled através de um sistema de pré-esforço, para finalmente ser pousado em seus apoios definitivos, liberando assim a lançadeira para o vão seguinte.

- Construção com recurso a lançadeira inferior de aduelas (Figura 22): A construção por esse equipamento segue basicamente os mesmos passos que o anterior, porém o equipamento se encontra numa posição relativamente inferior à superestrutura. Segundo Tarrataca (2009, p.), é muito comum a aplicação deste método com um par de vigas autolançáveis, que se localizam em ambos os lados do vão, suportando a si próprias nos pilares adjacentes a elas. A elevação das peças é feita através de guias ou de guinchos de elevação localizados sobre a lançadeira.

Figura 22: Lançadeira inferior de aduelas



FONTE: VSL Internacional APUD TARRATACA (2009, p. 10).

- Construção com recurso a um cimbria autoportante (Figura 23): Também conhecida como cimbria ao solo, e por ser tecnicamente a menos complexa de todas. Este recurso se apresenta como melhor solução para projetos com um devido número insuficiente de vãos, onde não se justifica o elevado investimento em uma lançadeira, onde a responsabilidade da colocação das aduelas sobre o cimbria fica sobre guias móveis geralmente.

Figura 23: Cimbra autoportante



FONTE: VSL Internacional APUD TARRATACA (2009, p. 11).

#### 4.1.2.2 Construção por avanços sucessivos

Este processo é indicado para vãos entre 50 m e 150 m, ou para superestruturas com uma maior complexidade geométrica como alinhamentos variáveis, curvas de raio reduzido e aduelas de padrão variável. Seu processo construtivo consiste basicamente na montagem em sequência dos pares das aduelas simetricamente a partir do pilar, sendo ligadas a cabos de pré-esforço, finalizando com a concretagem “*in loco*” do meio do vão em uma peça denominada aduela de fecho, que evita articulações onde seria um possível local de futuras patologias, e finalizando com a aplicação de mais um sistema de pré-esforço.

Para esse método a execução deve ser muito minuciosa e exata para que os trechos cheguem ao centro do vão simultaneamente e coincidentemente, principalmente em relação às deformações. Por esse motivo, a concretagem do vão central é feita geralmente em períodos com menor variação na temperatura, para que se reduzam os esforços no trecho até a cura por efeitos térmicos. Os equipamentos que pode ser usados para a montagem:

- Elevação por grua (Figura 24): Para esse equipamento de colocação de aduelas é necessário um baixo valor de investimento. Para o serviço é necessária apenas uma grua para elevar cada aduela por vez diretamente na frente da consola (Figura 2.12 e 2.13.). Apesar do custo, este processo tem algumas

limitações, principalmente em relação a alguns fatores, como a altura da superestrutura, acessibilidade e condições de operação no local de obra e etc.

Figura 24: Elevação de aduelas por guias



FONTE: VSL Internacional APUD TARRATACA (2009, p. 13).

- Recurso a guincho de elevação: O processo consiste na elevação das aduelas por dispositivos de elevação postos sobre a extremidade livre em construção, que vão avançando até que o tabuleiro seja totalmente construído (Figura 25). Geralmente esses dispositivos responsáveis pela elevação das peças estão equipados com uma plataforma auxiliar fixa ao nível da superestrutura, o que facilita a aplicação do sistema de pré-esforço longitudinal e aplicação resina epóxi entre juntas.

Figura 25: Elevação de aduelas por guincho



FONTE: VSL Internacional APUD TARRATACA (2009, p. 14).

- Lançadeira: Neste caso a instalação das aduelas é feito através de uma lançadeira que, autonomamente, se transporta progressivamente entre os vãos. Essas lançadeiras são capazes de operar uma grande variedade de vãos e raios de curvatura, deste modo, sendo a etapa construtiva mais complexa mecanicamente e com maior impacto visual. Essa lançadeira pode vim equipada com dois guinchos que são responsáveis por movimentar as peças, e o seu fornecimento com aduelas pode acontecer pelo tabuleiro já executado ou através da elevação das peças pelo solo ou por um barco ou balsa. Na figura 26 abaixo temos um exemplo dessa estrutura em ação:

Figura 26: Treliza lançadeira superior por avanços sucessivos.



FONTE: VSL Internacional APUD TARRATACA (2009, p. 10).

#### 4.1.2.3 Construção com recurso a tirantes

Sempre que possível, principalmente em relação aos avanços sucessivos, a obra é planejada para que os avanços sejam feitos simetricamente em relação ao apoio, de modo a evitar desequilíbrios significantes entre as cargas. Quando não for possível obedecer a essa recomendação, ou então for utilizada a técnica dos balanços progressivos, é aconselhável utilizar o recurso a tirantes, principalmente se desejável alcançar maiores vãos.

Esses tirantes podem ser provisórios ou definitivos (pontes atirantadas), em que só se muda, basicamente, na decisão da retirada ou não desses tirantes. Onde a sua construção consiste na montagem sucessiva das aduelas pré-moldadas por meio de uma grua ou de um guincho de elevação. As aduelas encontram-se temporariamente assembladas através do referido sistema de tirantes até que o vão fique completo, altura em que se procede à aplicação do pré-esforço longitudinal definitivo.

Figura 27: Construção de ponte com recurso a tirantes definitivos (ponte atirantada)



FONTE: VSL Internacional APUD TARRATACA (2009, p. 10).

O diferencial da construção com o tirante provisório se baseia na forma como as peças são pré-esforçadas temporariamente em sua posição final através de cabos de suspensão em uma torre, enquanto na aplicação com o tirante definitivo se diferencia por alcançar grandes vãos, sendo indicado para a faixa de vãos entre 150m e 450m.

#### 4.1.2.4 exemplos Construtivos

O primeiro exemplo construtivo é a já conhecida e mencionada no item anterior construção da ponte Rio-Niterói que atravessa a Baía de Guanabara e foi construída entre 1969 e 1974 com aproximadamente 13,3m de extensão, sendo 8.84m sobre o mar. Foi chamada oficialmente de Ponte Presidente Costa e Silva, sendo considerada na época a segunda maior ponte do mundo. Entre seus métodos construtivos estão a pré-moldagem de 3.250 aduelas na parte sobre o mar.

O içamento das aduelas que formaram grande parte das duas pistas da ponte foi feito com o uso de guindastes acoplados na treliça lançadeira que se apoiava na base dos pilares, conforme mostrado na figura 29. Essa montagem avançou na direção do Rio para Niterói e de Niterói para o Rio, encontrando-se nos três vãos centrais, entre os quatro pilares mais altos da estrutura. Para esse vão central da ponte, que precisava ter distância maior entre os pilares para os grandes navios

passarem, as aduelas pré-moldadas não atendiam, pois eram de difícil instalação em vãos muito grandes, sendo então adotado um vão inteiro como saída. A obra custou US\$ 674 milhões e foram gastos 560 mil metros cúbicos de concreto.

Figura 28: Içamento das aduelas por guindastes acoplados na treliça



FONTE: VSL Internacional APUD TARRATACA (2009, p. 10).

O segundo, mas não menos importante exemplo de construção com a tecnologia das aduelas pré-moldadas é a Ponte Anita Garibaldi, situada sobre a lagoa de Santo Antônio dos Anjos, em Laguna, Santa Catarina. Possui aproximadamente 2,83 km de extensão, com um custo total estimado de R\$ 597 milhões de reais e foram usados aproximadamente 97 mil metros cúbicos de concreto usinado para sua construção. A ponte pertence ao DNIT, que de acordo com o site “Ponte de Laguna” (como também pode ser chamada), é considerada terceira maior ponte do Brasil, segunda maior ponte estaiada do país e também a única ponte no mundo estaiada em curva com dois mastros centrais. O trecho estaiado conta com 400 m de extensão, e seus mastros têm 61 m de altura, e para uni-lo a obra conta com 94 aduelas pré-moldadas.

Segundo a direção da Eco101, que é a responsável pela duplicação da Rodovia BR-101 que faz a ligação do Brasil de Norte a Sul, ainda é uma obra de grande importância para o desenvolvimento logístico do país, onde a Ponte de Anita Garibaldi é peça essencial neste projeto para melhorar o congestionamento no sul

do país. A antiga Ponte Henrique Lage estava justamente no ponto onde os fluxos de veículos se congestionavam. Ou seja, a ponte serviu para solucionar um dos piores gargalos da BR-101, pendentes desde o início da duplicação da rodovia no Estado, em 1994.

Para o trecho corrente foram usadas mais de 700 aduelas pré-moldadas, com média de 70 toneladas cada, sendo que as mesmas possuíam seção variável para se ajustarem facilmente às variações de medidas necessárias para obra. Para esse trecho construído com as aduelas, foi usada a técnica construtiva de balanços progressivos por treliça lançadeira, que foi importada de Portugal apenas para essa montagem, e possui um sistema inteligente para o controle de flechas de modo a evitar deformações na estrutura durante a montagem. Treliça essa que teve a capacidade de montar e protender cada uma das 14 aduelas, dos 52 vãos para o trecho. Para a fabricação das peças foi feito um canteiro central na obra, onde as aduelas foram concretadas face-a-face para o perfeito encaixe no tabuleiro, e posteriormente estocadas em um pátio próprio para isso, sendo que cada peça pesava em torno de 80 a 100 toneladas.

Do pátio de estocagem as peças são içadas e transportados para as balsas por meio de dois pórticos de 60t, sendo que a capacidade da balsa é de apenas dois por viagem. Para o avanço da treliça sobre a estrutura, ela conta com um contrapeso de 45 toneladas que é içado através da ponte rolante e fixada no pórtico para auxiliar no processo, as suas “patas” (apoios da treliça na estrutura) são içadas e colocadas apenas nos apoios, dando início ao avanço da treliça pelo vão. O processo de montagem das aduelas, que levou cerca de seis dias para cada vão, consiste basicamente da seguinte forma:

Após as aduelas serem colocadas na balsa e transportadas até o local de içamento, a treliça inicia a pré-suspensão das peças sendo realizado imediatamente seu posicionamento altimétrico e planialtimétrico, seguido pela montagem das barras de suspensão de cada uma garantindo uma fixação longitudinal do tabuleiro durante todo o processo, conforme mostra a figura 29. Logo após é iniciado o processo de colagem entre as aduelas e montagem das barras de pré-esforço longitudinal para que possam ser unidas. Após todas estarem visivelmente juntas se inicia o processo de preparação para a protensão total das peças: sendo que primeiro são passadas as cordoalhas por dentro das bainhas, nesse caso foram sete bainhas e 27 cordoalhas, para depois se iniciar a instalação dos blocos de ancoragem e dos

clavetes para que os cabos sejam puxados por meio de um macaco hidráulico, fazendo com que a estrutura fique completamente enrijecida e com seus encaixes perfeitos, finalizando assim esse vão para posteriormente ser reiniciado o processo para todos o vãos novamente. Após esse processo de montagem foram recebidas as mãos francesas, pré-lajes, e concretagem das duas Lajes da extremidade para completar assim todo o tabuleiro da ponte.

Figura 29: Içamento das aduelas por meio de treliça lançadeira superior por avanços progressivos



FONTE: Grandes construções

#### 4.1.3 VIGAS E LAJES COMO TABULEIRO

A utilização de vigas pré-fabricadas (geralmente protendidas) e lajes como tabuleiro na construção de pontes teve seu início na década de 30 do século 20. Sendo que a década de 50 é outro período importante, onde se teve um maior avanço da proteção, transporte e montagem das peças. Neste método há a possibilidade da superestrutura ser toda pré-fabricada, ou seja, vigas, lajes, pré-lajes e guarda-rodas, permitindo assim a industrialização de praticamente todo o processo construtivo. Geralmente a peças são posicionadas com o auxílio de treliças de lançamento ou de guindastes.

De acordo com Possan & Penna (2014, p. 24-25) as vigas podem ser retas ou curvas, de alma cheia ou celulares podendo ser simplesmente apoiadas ou contínuas. Ainda segundo os autores as pontes em vigas pré-moldadas ou pré-fabricadas são as mais empregadas atualmente, principalmente no Brasil.

Por as vigas serem executadas frequentemente com concreto protendido, têm-se necessidade de uma análise natural de acordo com cada fase de

carregamento, sendo observado constantemente a mudança de característica da seção transversal no decorrer da construção.

Conforme Almeida (2000), este método é mais adequado para vãos entre 25 e 45m, sendo que dentre suas principais vantagens método são: a rápida execução da obra, controle de qualidade rígido na fabricação das peças, necessidade de menor área ocupada pelo canteiro de obras, ótimo acabamento estético, finalmente o uso de protensão aderente, o que dispensa as operações de protensão no canteiro e injeção das bainhas e etc. O concreto protendido é bastante usual e possui duas principais etapas de protensão: a primeira é logo após a concretagem (ainda na baía), para que a viga possa suportar seu peso próprio e os esforços decorrentes de seu lançamento, e a segunda é aplicada após o término da construção da laje. (Rosenblum, 2009, p. 55-56)

Após essa protensão vem o lançamento das vigas, a fixação das juntas e finalmente a concretagem das lajes que também são pré-fabricadas ou pré-moldadas, sendo atualmente utilizado um escoramento com o auxílio de pré-lajes que são apoiadas nas das vigas, e também podem servir como elemento estrutural, sendo providas de armaduras positivas da laje.

A sequência resumida do processo de fabricação das peças pré-fabricadas ou pré-moldadas segue basicamente da seguinte forma (com pequenas diferenças para pré-fabricação, quem tem que ter maior controle):

- Análise do projeto;
- Programação de fabricação (insumos, dosagem do concreto, etc.);
- Corte e dobra de armação;
- Montagem das fôrmas;
- Concretagem;
- Retirada das fôrmas;
- Protensão;
- Estoque;
- Carga para transporte (pré-fabricação);
- Lançamento e Montagem.

Quando as peças são pré-fabricadas a sua carga para o transporte é feita geralmente com a utilização de pontes rolantes, e a movimentação delas no canteiro

após sua chegada da fábrica, ou até mesmo após seu período de estocagem na obra (pré-moldadas), pode ser feita através de tratores mecânicos e reboques.

O lançamento e a montagem das peças podem ser realizados através de guindastes, e são muito usados em construções sobre o solo, sendo bem requisitados em viadutos visando não interromper o tráfego. Apesar dos guindastes poderem ser utilizados sobre balsas em casos de pontes sobre corpos d'água, o equipamento mais recomendado para esse caso é a treliça lançadeira, que também é muito conveniente para pontes com muitos vãos.

Apesar das grandes vantagens trazidas com o método das vigas pré-moldadas, ele apresenta a inconveniência dos apoios precisarem de elementos auxiliares para ligação entre a viga e o pilar quando são simplesmente apoiadas, além de necessitar das juntas de dilatação que nada mais é do que um tipo de dispositivo criado para absorver a variação volumétrica dos materiais, efeitos de vibração e movimentações inerentes das pontes. Essas juntas representam uma descontinuidade no tabuleiro da ponte, o que proporciona um desconforto ao usuário, além de apresentar uma provável seção com futuros problemas e até manifestações patológicas, como acontece em algumas pontes atualmente. Outra desvantagem é a necessidade de instalação de dispositivos de vedação nelas, que pode ser de execução trabalhosa e minuciosa, que mesmo sendo feita de maneira correta têm pouca durabilidade, resultando em trocas ou reparações em um curto prazo e com prejuízo para o trânsito de veículos durante a manutenção ou reparo.

Por essa razão cada vez mais se utilizam as lajes de continuidade que prescindem o uso dessas juntas em pontes, e é obtida através do prolongamento da laje do tabuleiro na região sobre a travessa de apoio por meio da concretagem de uma laje armada de continuidade apenas na direção longitudinal da ponte e é considerada como engastada nos tabuleiros dos dois vãos ligados a mesma.

Dentre as vantagens da utilização da continuidade em vez das juntas de dilatação neste método estão: grande simplicidade; fácil execução; dispensa dispositivos de vedação; aumenta o conforto dos usuários pela diminuição do choque das rodas dos veículos contra a junta; garante estanqueidade ao pavimento; apresenta durabilidade próxima a da prevista para o resto do tabuleiro; solução de baixo custo, eliminando totalmente as despesas de manutenção ou de troca dos dispositivos. Conforme Pinho, Regis & Araújo (2009), o emprego do método das vigas protendidas pré-moldadas com continuidade acarreta uma série de vantagens,

como a segurança estrutural e a diminuição da necessidade de manutenção, mas nem tudo se dispõe apenas de vantagens, e dentre suas desvantagens estão uma maior necessidade de mão-de-obra especializada e conhecimentos elevados pelos responsáveis da obra, especialmente na parte de projeto e planejamento da obra.

#### 4.1.3.1 Exemplos construtivos

Um bom exemplo construtivo é a já conhecida ponte Rio-Niterói em que, dentre outras tecnologias envolvidas e já citadas, foram montadas vigas barrigudas de concreto protendido pré-fabricadas nas suas rampas de acesso, essas vigas também podem ser chamadas de longarinas. Essas longarinas se apoiam nas travessas de dois pilares adjacentes, onde o seu número no tabuleiro varia em função da largura do tabuleiro formado por elas. Além de outras atribuições que a construção dessa ponte recebeu, essa parte em específico ganhou o brinde de maior vão em viga reta do mundo e de maior conjunto de estruturas protendidas das Américas.

O outro exemplo construtivo, e agora com maiores informações, temos a construção da ponte sobre a Represa Billings no Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas, em São Bernardo do Campo. Sendo que o principal motivo para a sua construção foi de proporcionar uma maior fluidez ao tráfego de passagem na cidade, deixando suas vias livres para o transporte coletivo e individual.

A ponte conta com uma extensão total de 1755m, do qual é constituída por dois vãos de 75m adjacentes aos encontros e por quinze vãos de 107m. Sendo que os vãos de 107m foram construídos pelo método das aduelas pré-moldadas protendidas mais o fechamento central concretado “in loco”, enquanto os dois vãos menores foram executados pelo método das vigas pré-moldadas, para as quais foi construído um pátio de fabricação próximo à obra. As vigas principais assim como as transversinas e lajes são pré-fabricadas, ou seja, foram transportadas da indústria ao local da obra para sua montagem.

O pátio de fabricação das vigas pré-moldadas, era constituído por três berços de fabricação, uma pista elevada para lançamento de concreto, três berços de estocagem e uma pista para o carregamento das vigas para as frentes de lançamento. A concretagem das peças foi feita por lançamento direto nas fôrmas com o auxílio de um caminhão betoneira pela pista de lançamento de concreto, o que evitou o custo com bombas de lançamento de concreto.

Após as vigas estarem concluídas são estocadas e propriamente identificadas conforme o projeto. Dando continuidade as peças são transportadas por guindastes pneumáticos do berço de estocagem, com utilização de pórtico e guincho, e colocadas sobre o caminhão que as transportará para o local da obra onde foram montadas e fixadas em seu lugar definitivo através de um guindaste sobre rodas (Figura 30).

Figura 30: Montagem das vigas pré-moldada por guindaste sobre rodas



FONTE: Rosenblum (2009, p. 140)

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DA PONTE FERNANDO HENRRIQUE CARDOSO

Também conhecida como Ponte da Amizade e Interação, foi inaugurada no dia 27 de setembro de 2002, e têm 8 quilômetros de extensão, ligando Palmas ao distrito de Luzimangues (Porto Nacional) no estado do Tocantins pela rodovia estadual TO-080, e custaram R\$ 146 milhões ao governo estadual.

A construção é constituída por três pontes e quatro aterros e faz travessia sobre o lago formado pela UHE Luís Eduardo Magalhães a 26 km de Palmas e com 630 km<sup>2</sup> de área alagada, sua maior ponte tem 1000 m de comprimento e as outras duas têm 100 m cada. A ponte conta com 40 pilares, 2 encontros, sendo que seu vão principal com 119,00 metros de comprimento e os demais 40 m. É constituída de vigas e transversinas metálicas, bem como a base do tabuleiro em treliça pré-

moldada e uma solidarização em concreto protendido, e os pilares e encontros em concreto armado.

A ponte foi construída no estilo *causeway* que carrega em sua etimologia, ligada à sua função, de origem inglesa que pode ser construída em locais de barras, geralmente em lagos ou mares, sobre quebra mares e até mesmo sobre a areia, sendo que muitas delas também podem ter a função de diques. Para a sua contenção foram usados gabiões em suas cabeceiras.

#### 4.3 APLICAÇÃO DO ESTUDO

A seguir serão apresentados os fatores que podem interferir diretamente na duplicação da ponte FHC com a utilização de pré-moldados ou pré-fabricados, fatores esses que pode viabilizar ou inviabilizar a obra.

Tabela 1: Fatores relevantes para a duplicação da ponte FHC

MÉTODO CONSTRUTIVO	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
Vãos Inteiros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geralmente o tabuleiro já vem completo antes de sua montagem definitiva na estrutura;</li> <li>• Alcança grandes vãos;</li> <li>• Mais usado em sua forma pré-fabricada, tendo assim um maior controle de qualidade;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Só se torna viável em vãos muito grandes;</li> <li>• Enormes equipamentos de transporte e montagem, tanto na estrada como em corpos de água;</li> <li>• Distância de transporte, levando em conta que as peças vem do exterior pelo mar;</li> <li>• Necessário uma linha de montagem especial na obra e maior mão de obra especializada;</li> <li>• Estudo minucioso desde seu dimensionamento, compatibilização, transporte, montagem, içamento, e etc.</li> <li>• Maior preocupação com efeitos da natureza, principalmente com a variação de temperatura, que se agrava mais ainda se a peça for metálica;</li> </ul>

MÉTODOS CONSTRUTIVOS	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
<b>Aduelas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto rendimento, mecanização e menor quantidade de mão-de-obra especializada;</li> <li>• Execução em menos tempo e com menores custos;</li> <li>• Melhor qualidade de execução, materiais e de tolerâncias;</li> <li>• Menor dificuldade no transporte;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige maior controle de qualidade, pois as peças devem ser produzidas e concretadas de modo a garantir o perfeito encaixe, e é recomendado que seus comprimentos sejam constantes para facilitar a fôrma;</li> <li>• Exige maior atenção na montagem</li> </ul>
Por avanços progressivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação do escoramento;</li> <li>• Redução da de fôrmas;</li> <li>• Menor de mão de obra;</li> <li>• Maior controle das frentes de trabalho em relação ao avanço sucessivo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicado para vãos entre 40 e 50m para evitar a execução de tirantes;</li> <li>• Leva mais tempo para a execução;</li> </ul>
Por avanços sucessivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicado para vãos entre 50 e 150m;</li> <li>• Possibilidade de construção com alinhamentos variáveis, curvas de pequenos raio, e de aduelas de padrão variável;</li> <li>• Maior opção de equipamentos de menor custo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade da aduela de fecho no centro do vão;</li> <li>• A execução deve ser minuciosa e exata para que os trechos cheguem ao centro do vão simultaneamente e Coincidentemente;</li> <li>• Maior atenção em relação às deformações;</li> </ul>
Por recurso a tirantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Podem ser provisórios ou definitivos;</li> <li>• Serve como alternativa principalmente para a técnica dos avanços sucessivos;</li> <li>• Possível alcançar maiores vãos, para tirantes definitivos está entre 150 e 450m;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os equipamentos se restringem a guias e guinchos de elevação;</li> <li>• Maior controle na fabricação e montagem das aduelas;</li> <li>• Maior número de materiais;</li> </ul>

MÉTODO CONSTRUTIVO	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
<p><b>Vigas &amp; lajes como tabuleiro</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de industrialização de todo o processo construtivo (vigas, lajes, pré-lajes, guarda-corpos e etc.), e da utilização de lajes de continuidade;</li> <li>• As vigas podem ser retas, curvas, de alma cheia ou celular, simplesmente apoiadas ou contínuas;</li> <li>• É o tipo de superestrutura mais usado no Brasil atualmente;</li> <li>• Rápida execução, controle de qualidade rígido na fabricação das peças, menor área ocupada pelo canteiro de obras;</li> <li>• Ótimo acabamento estético, uso de protensão aderente, o que dispensa as operações de protensão no canteiro e injeção das bainhas;</li> <li>• Possibilidade de pré-lajes servirem de elemento estrutural, sendo providas de armadura positiva;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de análise de acordo com cada fase de carregamento, sendo observado constantemente a mudança de característica da seção transversal;</li> <li>• Indicado para vãos entre 25 e 45m;</li> <li>• Os apoios precisam de elementos auxiliares para ligação entre a viga e o pilar quando são simplesmente apoiadas, além de necessitar das juntas de dilatação;</li> <li>• Necessidade de dispositivos de vedação;</li> </ul>

Fonte: próprio autor

Por meio da tabela e dos estudos realizados é possível resumir que:

- Apesar das estruturas formadas por vãos inteiros alcançarem um maior comprimento de vão em menos tempo, se torna inviável em vários fatores se a obra não estiver localizada perto de regiões litorâneas, já que as peças são importadas e seu içamento requer maior competência e equipamentos especiais, sem contar na sua montagem especial, maior área necessária para montagem e transporte até sua posição de içamento.

- Já as aduelas são as mais indicadas para a construção de pontes sobre corpos de água, de médio e grande porte, pois dentre os outros métodos é o

mais rápido, mais flexível para construção, ou seja, possui uma maior opção de processos construtivos e equipamentos para montagem, capacidade de alcançar maiores vãos, ainda mais se usadas com recurso a tirantes definitivos como etapa construtiva (até 450m). A principal desvantagem com relação ao próximo método é que o método das vigas está mais difundido em nossa região, então é mais fácil encontrar empresas que trabalhem com essa tecnologia por perto, mas nada que chegue a inviabilizar a obra, pois ainda se têm a opção de pré-moldagem.

- Chegando finalmente no uso de vigas & lajes como tabuleiro que são indicadas para pequenas pontes e viadutos, além de vias de acesso para pontes sobre o solo, por suas peças serem mais leves e de maior facilidade no transporte e manuseio, resultando em equipamentos de menor porte, sem contar que todo o processo de montagem se torna menos complicado. Porém dentre os métodos é o que mais se distancia de um tabuleiro pronto, sendo necessária ainda a montagem de vários outros elementos (como pré-lajes, lajes, acostamentos, etc.), e em alguns casos até concretagem em loco de algumas partes, sem contar na necessidade de juntas.

Diante dos fatos mencionados é possível descartar o método dos vãos inteiros como tabuleiro para a duplicação da ponte FHC, visto que a sua construção é construtivamente inviabilizada pelos seguintes fatores:

Primeiramente o transporte das peças é bem dificultoso, vendo que Palmas está a uma distância considerável do mar, levando em consideração a importação das peças, e nossas rodovias também não ajudam, gastando um tempo precioso apenas para seu transporte, sem contar na montagem que precisa de uma grande área que seria desmatada para construção do canteiro de montagem das peças e a necessidade de uma maior mão de obra especializada. Em segundo lugar, atualmente não se têm a necessidade de vãos muito grandes, e mesmo se tivesse, no caso do incentivo da utilização do lago como meio de transporte, seria mais aconselhável o uso do método das aduelas pré-moldadas com recurso a tirantes. O terceiro lugar está relacionado aos equipamentos que devem ser de grande capacidade, ocupando assim um maior espaço, além de ser um custo a mais. Outro fator importante é o clima visto que há uma grande variação de temperatura, que atinge um dos valores mais altos do Brasil boa parte do tempo, sendo outra preocupação a mais, pois as peças são geralmente metálicas.

Portanto, de acordo com a tabela acima, com estudos realizados durante todo o trabalho e com os exemplos construtivos expostos, foi concluído que a utilização dos outros dois métodos construtivos seria a melhor opção para esse projeto de duplicação, ou seja: Aduelas pré-moldadas e Vigas & Lajes pré-fabricadas como tabuleiro (sendo bem recomenda a utilização de lajes de continuidade). Uma vez que as vigas pré-fabricadas seriam usadas para compor as vias de acesso da ponte e as aduelas pré-moldadas todos os outros vãos, permitindo assim a criação de no mínimo três frentes de trabalho simultâneas para a construção da superestrutura, sendo a terceira no próprio canteiro de obras para a fabricação e estocagem das aduelas.

Os motivos para esta decisão são claros de acordo com a tabela acima, que, para as vigas & lajes como tabuleiro são a possibilidade de industrialização de todo o processo construtivo e de terem seções curvas para as vias de acesso, ter empresas que trabalham com essa tecnologia por perto, melhor indicada para a montagem em solo, usar lajes de continuidade para redução de manutenções e melhor conforto do usuário; e para as aduelas são a fabricação no próprio canteiro, alto rendimento, menor mão de obra por causa da mecanização, menos tempo de execução e melhor qualidade, sendo as vantagens para os avanços progressivos a eliminação do escoramento, redução de formas e maior controle das frentes de trabalho, e para os avanços sucessivos com recurso a tirante apenas a possibilidade de alcançar maiores vãos, se saindo melhor em termos construtivos e econômicos que o método dos vãos inteiro. Porém, para um melhor entendimento foi exposto abaixo o processo construtivo das frentes de trabalho de modo resumido, mas relevante:

Após todos o serviços preliminares estarem concluídos, inclusive a montagem do canteiro de obras central e o canteiro de fabricação e estocagem de aduelas, se inicia a construção da infraestrutura juntamente da mesoestrutura já sendo preparada para receber as vigas pré-fabricadas das vias de acesso. Sendo que a construção das mesmas se dá de modo seguido, ou seja, só se avança para o próximo ponto quando os apoios da superestrutura estão totalmente prontos para receber as peças. Enquanto isso as vigas pré-fabricadas são estocadas e o processo de fabricação das aduelas se inicia, ou seja, corte e dobra de amarração e montagem das fôrmas. Assim que os apoios vão sendo liberados já se inicia a montagem da superestrutura das vias de acesso com as vigas através do içamento

por meio de guindastes ao solo diretamente do caminhão da empresa que as forneceu, ao mesmo tempo em que as aduelas são fabricadas e estocadas e as infra e mesoestrutura das vias de acesso e da ponte continuam a ser construídas.

Sendo que ao se concluir boa parte das mesoestruturas da ponte sobre o lago já se inicia a montagem das aduelas por avanços progressivos através da treliça lançadeira superior, sendo seu transporte da armazenagem para a balsa (sendo aconselhável mais de uma balsa para agilizar o processo) podendo ser feito por guindastes ou pontes rolantes. É recomendado que a construção de toda a ponte parta das duas margens sucessivamente se encontrando no vão central para uma maior agilidade no processo, mas se não for possível (por falta de verba, equipamentos ou mão-de-obra), após terminar toda a estrutura das vias de acesso de um lado, que provavelmente irá acontecer antes do término da ponte propriamente dita, parte-se para o outro.

Seguindo com a montagem das aduelas, ao chegar ao vão central da ponte que coincidirá com o da atual ponte FHC será utilizada a mesma tecnologia, mas através dos balanços sucessivos com recurso a tirantes definitivos, para se alcançar maiores vãos (acima dos 350m), se prevenindo assim para a possível utilização do lago como meio de transporte de cargas. Serão dois vãos centrais em que as aduelas partirão do pilar central erguidas por meio de guias ou guinchos de elevação sobre balsas, ficando temporariamente assembladas pelos tirantes até a aplicação do pré-esforço longitudinal após a sua conclusão. Se a construção for feita em apenas uma direção de montagem, após a construção dos dois vãos centrais, o trabalho com a aduelas por avanços progressivos através da treliça lançadeira superior continua até chegar às vias de acesso, que a esse ponto já vão estar construídas. A construção termina após fazer todos os acabamentos em toda a extensão da ponte, limpeza da obra, que vai muito ser pouca coisa, e finalmente a sua inauguração.

Para as vias de acesso serão construídos pequenos aterros nas margens para que as vigas avancem um pouco mais (na ordem de mais ou menos 50m para cada margem), e seus vãos terão um comprimento de vão de aproximadamente 45 metros totalizando um número de vãos de 6 a 10 em cada margem para que se tenha uma boa e confortável inclinação. E para a ponte propriamente dita que será feita com aduelas pré-moldadas por avanços progressivos irá contar com vãos de aproximadamente 50 metros de comprimento, totalizando aproximadamente 140

vãos, e mais dois vãos centrais construídos por avanços sucessivos com recurso a tirante de 450 metros cada. Usando como base aduelas com 5 metros de comprimento, cada vão intermediária irá ter 10 aduelas, e o vão central irá contar com aduelas de tamanho variável, na ordem entre 4 e 8m, resultará em aproximadamente 70 aduelas para cada um dos dois vãos.

## 5 CONCLUSÃO

Durante este trabalho foram expostos uma gama de conhecimentos técnicos que contribuíram de forma significativa para o estado de conhecimento da construção da superestrutura das pontes com a utilização de métodos e etapas construtivas de pré-moldados e pré-fabricados.

Foi possível observar que a principal busca nessas tecnologias é a industrialização dos métodos, seja pelos equipamentos ou pela repetitividade e rapidez das operações envolvidas, de modo a racionalizar o processo de fabricação e montagem para ganhos como a redução de prazo e custo aliados ao aumento na qualidade e sustentabilidade da obra, que é exatamente o potencial do uso dessa tecnologia e seus diversos métodos construtivos. Desse modo é visto a importância de estudos como esses, sendo que um desses fatores é justamente a desvantagem da tecnologia estudada, onde se resume na falta de incentivo mediante busca e carência de informação por conta dos profissionais e das empresas.

Percebe-se ao longo do trabalho, que esses métodos construtivos se aplicam em todo e qualquer caso de construção de pontes, desde que seja escolhido o método adequado para cada caso, levando em conta todos os aspectos aqui mencionados, desde a escolha do tipo da peça e seus respectivos equipamentos até seu processo construtivo. Por meio dessa analogia conclui-se que não há uma linha exata a se seguir para essa escolha ou a melhor opção a se adotar e sim um estudo relacionando cada característica construtiva de cada processo com a construção da obra. Outro fator importante é entender que para se obter uma melhor estrutura, a obra deve se iniciar com a pré-moldagem desde o projeto preliminar e não meramente adaptado de outro método. Acredita-se que é por esse motivo que foi visto uma maior procura por estruturas pré-fabricadas em vez das estruturas pré-moldadas, sendo que um dos fatores cruciais para essa conclusão pode ser a falta de conhecimento por parte dos profissionais envolvidos desde o projeto à execução.

Os métodos e processos construtivos até agora conhecidos, e limitados a nosso idioma, foram estudiosamente levantados, analisados, caracterizados e finalmente descritos de modo detalhado e com exemplos construtivos para facilitar o entendimento e aumentar a confiabilidade do que foi tratado aqui. Outro elemento de suma importância para atestar os conhecimentos adquiridos por este estudo foi a sua aplicação na escolha do tipo de estrutura e etapas construtivas para uma

possível duplicação da ponte FHC, em que foi mostrado na prática como se dá essa escolha de acordo com as características da obra e da região.

Para a escolha do método construtivo que mais se adequa às características da ponte FHC foi chegada à conclusão de que a melhor opção seria a junção dos métodos levando em consideração suas particularidades, como visto em alguns exemplos construtivos que chegaram até a usar os três tipos de estrutura em seus trechos de uma só ponte. Como o método dos vãos inteiros foi descartado por conta da localização da obra, os dois restantes foram os escolhidos para a duplicação, levando em conta uma maior rapidez e agilidade de construção, dividindo mais frentes de trabalho. Sendo usado o método das vigas & lajes como tabuleiro para as vias de acesso sobre o solo e as aduelas para a ponte sobre o lago, das quais para o vão central foi escolhida a técnica dos avanços sucessivos com recurso a tirante para atingir uma vão maior e no restante avanços progressivos para se ter um maior controle de todas as frentes de trabalho.

#### 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Um dos trabalhos que poderá decorrer do presente é a realização de um estudo comparativo da duplicação da ponte FHC com o da estrutura escolhida para a duplicação (ou apenas de aduelas) com a atual estrutura ou mesmo com a utilização de outros métodos tradicionais, seja por viabilidade econômica, de duração, etc.

Outros trabalhos, que poderão constituir uma contribuição útil para o estado de conhecimento desta tecnologia seria estudo de fabricação de peças pré-moldadas no canteiro ou pré-fabricadas em indústrias, estudo de ligação entre as peças, ou até mesmo a realização de um projeto executivo com a estrutura recomendada para a duplicação da ponte FHC.

## 6 REFERÊNCIAS

Artigo **A travessia sobre a ponte rio-Niterói.** Disponível em: <http://infograficos.oglobo.globo.com/pais/ponte-rio-niteroi.html>

Blog EcivilUFES, **#1 – Ponte Rio-Niterói.** Disponível em: <https://ecivilufes.wordpress.com/2011/06/06/ponte-rio-niteroi/>

Blog Pet Engenharia UFJF, **A Ponte-túnel de Öresund.** Disponível em: <https://blogdopetcivil.com/2012/02/03/a-ponte-tunel-de-oresund/>

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia de Sustentabilidade na Construção.** Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Caderno de casos de inovação na indústria da construção civil.** Salvador, 2011.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **2º Caderno de casos de inovação na indústria da construção civil.** Salvador, 2014.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado.** 3. ed. São Carlos: EduFSCar, 2007.

Civil, C. D. E. E., Possan, M., & Penna, P. D. (2014). **ESTUDO DE VIGAS PRÉ-FABRICADAS UTILIZADAS EM PONTES ESTUDO DE VIGAS PRÉ-FABRICADAS UTILIZADAS EM PONTES.**

ECOTEX Pontes de fácil instalação - **Pontes Rurais com tabuleiro em concreto pré-moldado.** Disponível em: <http://www.ecopontes.com.br/produtos-ver/pontehibrida-ecotex/22>

EL DEBS, M. K. **Contribuição ao emprego de pré-moldados de concreto em infraestrutura urbana e de estradas.** São Carlos, 1991. Tese (Livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

EL DEBS, M. K. **Pontilhões em abóbadas e muros pré-moldados solidarizados com concreto moldado no local.** Carta patente PI 9.001.786-2, expedida em 25/02/1999.

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

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Introdução às Pontes de Concreto Armado.** São Carlos. 2009.

Ferraz, M. (2001). **Um Modelo de Análise para o Estudo de Pontes como Estruturas Evolutivas**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

FERREIRA, DANIELE GOMES. **Notas de aula de Sustentabilidade das Construções**, UFMG, 2º semestre de 2008.

FREITAS, M. **Pontes: Introdução Geral - Definições**. São Paulo: [s.n.], 1978

GLAUCO, B. **Pontes**. 3. Ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1980.

Google Maps: site de busca que permite a visualização de mapas e fotos de satélite. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>

Infraestrutura urbana, publicação sobre **O transporte de pontes pré-moldadas**. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoestecnicas/20/artigo271660-5.aspx>

NAKAMURA, J. Pré-fabricados de concreto já são largamente empregados em projetos com alto grau de repetição e amplos vãos livres. Mas uso em edifícios altos, especialmente residenciais, ainda é restrito. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 149, dezembro 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 6120 (ABNT, 1980): “Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações”;

\_\_\_\_\_. NBR 10839 (ABNT, 1989): “Execução de Obras de artes Especiais em Concreto Armado e Concreto Protendido”;

\_\_\_\_\_. NBR 8953 (ABNT, 1992): “Concreto para Fins Estruturais – Classificação por Grupos de Resistência”;

\_\_\_\_\_. NBR 6122 (ABNT, 1996): “Projeto e Execução de Fundações”;

\_\_\_\_\_. NBR 7187 (ABNT, 2003): “Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido - Procedimento”;

\_\_\_\_\_. NBR 9062 (ABNT, 2006): “Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado”;

\_\_\_\_\_. NBR 7480 (ABNT, 2007): “Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado - Especificação”;

\_\_\_\_\_. NBR 7188 (ABNT, 2013): “Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e Outras Estruturas”;

\_\_\_\_\_. NBR 6118 (ABN, 2014): “Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento”.

Rosenblum, A. (2009). Universidade do Estado do Rio de Janeiro Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Engenharia Anna Rosenblum. **Pontes em estruturas segmentadas pré-moldadas protendidas**: análise e contribuições ao gerenciamento do processo construtivo Pontes em estruturas.

SALVADORI, M. **Por que os edifícios ficam em pé**. 1ª. Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

SANTOS, H., & RAMOS, R. (2014). **Caderno de casos de inovação na construção civil**, Retirado em [www.cbic.org.br](http://www.cbic.org.br)

SANTOS, LILIAN LUCCHESI DOS. **Proposta para um Conjunto Residencial Popular Sustentável**, UFMG, 2007.

SANTOS, IARA GONÇALVES DOS. **Notas de aula de Sustentabilidade das Construções**, UFMG, 2º semestre de 2008.

Serra, S. M. B., Ferreira, M. D. A., & Pigozzo, B. (2005). **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção Em Concreto Pré-Moldado**.

Site Ponte de Laguna o novo cartão postal do sul. Disponível em: <http://www.pontedelaguna.com.br/>

SOUZA, j.l.o. **Contribuição ao estudo de pontes estaiadas**. 1984. 177p. *Dissertação (Mestrado) - Escola politécnica, universidade de São Paulo*.

Tamaki, L. (2011). **V Congresso de Pontes e Estruturas discute novas tecnologias Técnicas**. Artigo publicado pela revista pini em 6 de abril de 2011.

Tarrataca, Tiago João de Souza. (2009). **CONSTRUÇÃO DE PONTES COM ADUELAS PRÉ-FABRICADAS**. Mestrado em estruturas. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.

Toledo, R. de, Abreu, A. F. de, & Jungles, A. E. (2000). **A Difusão De Inovações Tecnológicas Na Indústria**. *Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído*,

VARGAS, L. A. B. **Comportamento estrutural de pontes estaiadas: efeitos de segunda ordem**. 2007. 127 p. *Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-Sp, 2007*.

Documentos candidatos

- periodicos.set.edu.b... [1,2%]
- youtube.com/watch?v=... [0,22%]
- matpar.com.br/servic... [0,07%]
- pt.wikipedia.org/wik... [0,05%]
- mamuth.com.br/icamen... [0,02%]
- pt.scribd.com/docume... [0,02%]
- iso.org/ [0,01%]

Arquivo de entrada: TCC\_2\_Smith\_Stocilos.docx (13881 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
periodicos.set.edu.b...	Visualizar	239	1,2
youtube.com/watch?v=...	Visualizar	32	0,22
matpar.com.br/servic...	Visualizar	10	0,07
pt.wikipedia.org/wik...	Visualizar	8	0,05
mamuth.com.br/icamen...	Visualizar	3	0,02
pt.scribd.com/docume...	Visualizar	3	0,02
iso.org/	Visualizar	2	0,01
site.abete.com.br/do...	-	-	-
ft.unicamp.br/~cicol...	-	-	-
repositorio-aberto.u...	-	-	-

Download falhou.  
HTTP response code: 0

Download falhou.  
HTTP response code: 0

Download falhou.  
HTTP response code: 0