



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

### CONSTRUÇÃO DOS VÃOS DE ACESSO DA 2ª PONTE ENTRE BRASIL E PARAGUAI PELO PROCESSO DOS SEGMENTOS EMPURRADOS

*PÂMELA VERONICA GUERELLU MOCELIN<sup>1</sup>*

#### RESUMO

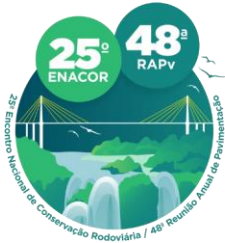
O processo de segmentos empurrados foi aplicado pela primeira vez na década de 60, alavancando o desenvolvimento da engenharia na época. Este artigo apresenta a construção dos segmentos que fazem parte dos vãos de acesso laterais da 2ª Ponte entre Brasil e Paraguai, onde o método utilizado foi o empurre/deslocamento dos trechos em concreto armado/protendido, a fim de vencer as distâncias impostas entre os apoios intermediários pelo projeto. A execução consistiu em pré-fabricar os segmentos em concreto armado/protendido com estruturas provisórias, dentre elas cimbramento e formas, interligando uma aduela metálica que serviu como “bico de empurre” a um trecho com determinada largura e comprimento, formado por transversinas e longarinas, onde após os procedimentos de execução necessários e cura do concreto ocorria o deslocamento do conjunto em direção à margem do Rio. Durante os deslizamentos, foram utilizados vários dispositivos auxiliares que contribuíram para o resultado final da operação, dentre eles perfis guia travados nas extremidades de cada um dos trechos em concreto armado, interligados aos macacos hidráulicos que exerciam a força de “puxamento” à frente, bem como sapatas isoladas provisórias acopladas às faces inferiores das longarinas, travadas por barras de aço nas laterais da estrutura das próprias longarinas. Ainda sobre calços das travessas dos pilares intermediários da ponte, foram fixados aparelhos de apoio definitivos unidirecionais de superfície material inox, a fim de facilitar o deslize da estrutura, mantendo o conjunto de trechos alinhados durante a passagem. De modo geral, o processo de empurre dos segmentos tanto em lado brasileiro quanto em lado paraguaio, foram executados de forma segura e dentro do tempo estimado de produção, contribuindo num todo para o andamento da obra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segmentos empurrados; ponte estaiada; aduela.

#### ABSTRACT

The pushed segment process was applied for the first time in the 60's, leveraging the engineering development at the time. This article presents the construction of the segments that are part of the lateral access spans of the 2nd Bridge between Brazil and Paraguay, where the method used was the pushing/displacement of the sections in reinforced/prestressed concrete, in order to overcome the distances imposed between the supports intermediaries for the project. The execution consisted of prefabricating the segments in reinforced/prestressed concrete with provisional structures, including scaffolding and forms, interconnecting a metallic stave that served as a “push nozzle” to a section with a certain width and length, formed by transversines and stringers, where after the necessary execution procedures and the curing of the concrete, the set was moved towards the river bank. During the landslides, several auxiliary devices were used that contributed to the final result of the operation, including guide profiles locked at the ends of each of the sections in reinforced concrete, interconnected to hydraulic jacks that exerted the “pulling” force in front, as well as as provisional isolated shoes attached to the lower faces of the stringers, locked by steel bars on the sides of the structure of the stringers themselves. Still on the shims of the crossbeams of the intermediate pillars of the bridge, definitive unidirectional support devices of stainless steel surface were fixed, in order to facilitate the sliding of the structure keeping the set of sections aligned during the passage. In general, the process of pushing the segments, both on the Brazilian and Paraguayan sides, was carried out safely and within the estimated production time, contributing as a whole to the progress of the work.

**KEY WORDS:** Pushed segments; cable-stayed bridge; stave.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



<sup>1</sup> Consórcio Supervisor Ponte Brasil-Paraguai, Foz do Iguaçu, Brasil, [pammocelin@gmail.com](mailto:pammocelin@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

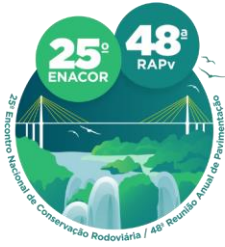
Em 1930, foi criado pelo engenheiro Emilio Baumgart o método de Balanços Sucessivos para a construção de pontes com aduelas moldadas “*in loco*”, ocorrendo em poucos anos um grande salto nas técnicas tanto de projeto quanto de execução. A partir daí, a fim promoverem a competitividade, as empresas passaram a pesquisar soluções que reduzissem o custo principalmente em relação à mão-de-obra. Uma destas soluções foi a dos avanços sucessivos, ou seja, segmentos (trechos) empurrados. O processo foi aplicado pela primeira vez em 1962 através dos engenheiros Fritz Leonhardt e Willi Baur na ponte sobre o Rio Caroni, na Venezuela, com condições severas e variações no nível da água de aproximadamente 20m (STUCCHI, 1999).

Com o passar dos anos, os avanços sucessivos foram se tornando mais conhecidos pelo mundo todo, estudados e aperfeiçoados como método construtivo de pontes e viadutos, podendo ser referido na construção do Viaduto de Alcântara de acesso à ponte sobre o rio Tejo, em Lisboa, composto por consola de 38m de vão em cada lado, interligando as extremidades através de articulações, assim como a ponte de São João junto à cidade de Porto, caracterizada por ser uma estrutura ferroviária com vão central de 250m livres e dois vãos laterais de acesso com 125m cada um. Para vãos superiores a 200m, o avanço sucessivo dos trechos tem diversas desvantagens em especial o valor dos momentos fletores negativos oriundos do peso próprio da estrutura a ser deslocada, gerando valores de compressão mais elevados e a quantidade de pré-esforço a ser aplicada para deslocamento. Porém, existem obras realizadas em que o vão ultrapassam os 200m, assim podendo ser utilizadas medidas adicionais para solucionar os possíveis problemas que poderiam ocorrer, necessitando assim de reforço da armadura de compressão e/ou o uso de agregados no sistema para reduzir o peso da estrutura. Alguns exemplos são a ponte Gateway (Austrália) e Hamna (Japão), tendo respectivamente 260m e 240m de vão deslocados.

O “deslocamento de segmentos” consiste em vencer os vãos entre os pilares através de aduelas pré-moldadas ou moldadas no local, sendo indicado quando o rio possui correnteza extrema e altura grande em relação ao tabuleiro e o terreno natural. No caso das aduelas executadas “*in loco*”, seguem o sistema tradicional de construção, concretando as vigas longarinas e transversinas sobre uma estrutura de formas e escoramentos nas proximidades dos encontros da ponte, onde após a cura do concreto, o conjunto é desformado e “empurrado” para a frente através de macacos hidráulicos, a fim de atingir o pilar seguinte (LEONHARDT, 1979).

Para ocorrer estabilidade durante o processo de avanço, o peso apoiado deve ser superior ao peso em balanço, assim, evitando o tombamento da estrutura. Por ser mais leve que o concreto armado, usualmente utiliza-se um segmento metálico fixado no trecho em concreto, denominada “aduela de disparo”, tendo por finalidade reduzir substancialmente os momentos negativos durante as fases de empurre do conjunto. A sua ponta é levemente encurvada para cima a fim de “subir” suavemente sobre os pilares durante o deslizamento, um exemplo de utilização desse método foi no viaduto Ravensbach, na Holanda com características de 15m de extensão, peso de 20 toneladas enquanto 15m da superestrutura pesam 375 toneladas (SCHMID, 2005).

O equipamento utilizado para o deslocamento horizontal da estrutura é composto por macacos hidráulicos apoiados na estrutura de encontro ou ponto de partida e são ligados por meio de cabos de protensão a um perfil metálico situado na parte anterior do módulo. Ao acionar os macacos, os cabos são tracionados, deslocando à sua frente, a parte da superestrutura já executada. A velocidade média do avanço, varia conforme o peso do conjunto e o atrito entre os aparelhos de apoio utilizados como aparelhos auxiliares.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Nesse contexto, o objetivo desse artigo é apresentar o andamento e execução do avanço sucessivo dos trechos empurrados da 2ª Ponte entre os países Brasil e Paraguai, conhecida também como “Ponte da Integração”, apontando o método utilizado durante o processo de deslocamento dos trechos e as características gerais de cada um deles. De imediato, vale ressaltar que para a construção da Ponte da Integração foram feitas algumas adaptações em relação ao “deslocamento” dos trechos de acesso laterais em concreto armado, interligando os pilares intermediários da obra associados ao travamento dos mesmo por protensão de cordoalhas durante o processo de “empurre”.

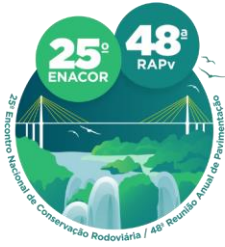
## CARACTERISTICAS GERAIS DAS ESTRUTURAS

### Ponte Estaiada

Segundo Mason (1977), as pontes estaiadas possuem pendurais rígidos e grande estabilidade aerodinâmica, seu tabuleiro pode ser de concreto armado ou protendido e apresentam flechas mínimas. O sistema estaiado permite que sejam construídos grandes vãos como por exemplo a Ponte Normandie localizada na França, sobre o rio Sena, com vão central de 856m ou também a ponte de Ian-Tsé em Xangai na China, com vão central de 730m e extensão de 16,6 km, que se conecta com um túnel de 8,9 km, entre outros. Diante disso, tomando como exemplo a Ponte Binacional nomeada Ponte da Integração é constituída de dois mastros de onde partem cabos de sustentação para o tabuleiro central da ponte, tendo um comprimento total de 760 m, apoiada sobre 16 pilares e 2 caixas de equilíbrio. É composta por oito vão laterais, sendo quatro, que possuem 25,00 metros cada, localizados na Margem Direita – Paraguaia, e os outros quatro vãos possuindo 30,00 metros cada, localizados na Margem Esquerda – Brasil, totalizando 290 metros de Vãos Laterais, com área de 5.742m<sup>2</sup>. O vão central é todo estaiado e possui 470,00 metros de extensão e área de 9.306 m<sup>2</sup>, formado por 2 aduelas de disparo, 34 aduelas típicas e 1 aduela de fechamento.



Figura 1. Vista Geral Lateral / 2ª Ponte entre Brasil e Paraguai (MOCELIN, 2022).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



O sistema de estais propostos para a ponte, com geometria assimétrica, é composto por 72 estais frontais, 36 estais de retaguarda e 8 estais verticais, totalizando 116 estais de comprimento 17.582,40 metros. A ponte possui 2 mastros principais, um em margem paraguaia e outro em margem brasileira, ambos com altura de 124,00 metros em relação ao tabuleiro da ponte e 185,04 metros até a fundação (lado Paraguai) e 190,17 metros (lado Brasil), como mostra a figura 1.

A largura total da seção transversal varia de 19,20 a 22,70 metros, distribuídos em duas pistas de rolamento de 3,60 metros com 2 acostamentos de 3,00 metros cada, barreiras New Jersey de 0,40 metros de largura, de ambos os lados e dois passeios laterais de 1,70 metros de largura, com guarda-corpos de 0,20 metros de largura e áreas de acesso que variam de 0,70 a 1,45 metros de largura ao longo de toda a ponte e 1,00 metro para cada lado na caixa de equilíbrio, denominada região de instalação dos tubos fôrma dos estais de retaguarda.

### Vãos de Acesso

Os vãos laterais se localizam como vãos de acesso para chegada ao vão central estaiado da ponte. A ponte possui 2 vãos laterais: um em lado brasileiro e outro em lado paraguaio, que respectivamente possuem uma distância aproximada de 165 metros de extensão na margem BR e na margem PY possuem aproximadamente 145 metros de extensão. Os vãos laterais são formados pelas caixas de equilíbrio, lajes dos encontros 1 e 2 e trechos de concreto armado empurrados. No processo de deslocamento dos trechos, foram utilizados como “bico” do conjunto as primeiras aduelas metálicas que compõem o vão central da ponte: Aduelas 5.01 e 6.01, respectivamente cada uma em um lado, 5.01 em lado paraguaio e 6.01 em lado brasileiro. A aduela metálica possui peso menor quando comparado a estrutura de concreto armado, a fim de reduzir os momentos negativos durante as fases de empurre do conjunto, uma vez que o nível da superestrutura deve ser constantemente verificado a fim de evitar problemas na passagem do trecho sobre os apoios intermediários. O uso da protensão centrada no caso entre o 1º trecho e aduela metálica, mantém as tensões de tração nos limites permitidos, como pode ser observado na representação a seguir.

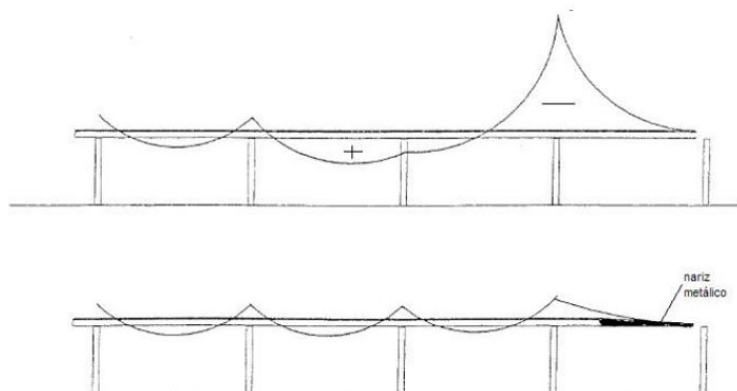
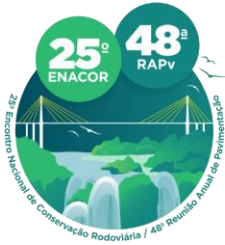


Figura 2. Representação dos momentos gerados durante o processo de deslocamento dos trechos (ELABORADO PELO AUTOR, 2023).

Os trechos empurrados foram “deslocados” para a posição final de projeto, com o auxílio de cordoalhas de aço através de macacos hidráulicos (Strand Jacks) fixados em pilares provisórios, onde a cada execução dos trechos individuais, era realizado mais uma fase do deslocamento do conjunto até o comprimento total do trecho concretado. A força horizontal que surge no topo de



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



cada um dos pilares intermediários durante o deslizamento do conjunto, pode ser anulada (ação>reação) através de macacos hidráulicos instalados no alto do próprio pilar sobre a travessa.

Em lado brasileiro, o vão lateral é formado por 5 trechos empurrados, já em lado paraguaio o vão lateral é formado por 4 trechos empurrados, sendo eles todos em concreto armado com a utilização de concreto com Fck de 50 MPa e aços dos tipos CA-50 e CA-25 possuindo dimensões parecidas, porém extensões/comprimentos diferentes. Cada trecho de concreto armado possui uma quantidade específica de transversinas, pré-lajes em concreto armado e uma área de consolidação de pré-lajes de concreto pré-fabricado e uma espessura de laje de aproximadamente 0,24 metros específica para cada dimensão em cada um dos trechos executados, ao todo, foram fabricadas e lançadas 1.386 peças pré-fabricadas que compuseram os trechos empurrados.

Os primeiros trechos em concreto armado/protendidos de cada lado (trecho 01) são protendidos no sentido longitudinal, por cabos (cordoalhas) de diâmetro 15,2 mm, subdivididos em 33 conjuntos (bainhas) ao longo de cada uma das longarinas montante e jusante, ao todo, no 1º trecho empurrado PY foram utilizados 1.874,4 metros de cordoalhas tensionadas, já no 1º trecho empurrado BR foram utilizados 1.832,8 metros de cordoalhas tensionadas.

### Segmentos em lado Brasileiro

O Trecho empurrado 01, possui aproximadamente 20,50 metros de largura x 25,40 de comprimento, 2 longarinas (1,90 metros de largura x 25,40 metros de comprimento x 3,40 metros de altura), 8 transversinas típicas (16,50 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura) e 1 transversina atípica (16,50 metros de largura x 1,50 metros de comprimento x 1,56 metros de altura), contendo 144 unidades de pré-lajes de concreto pré-fabricadas com dimensões que variadas totalizando uma área de 520,70 m<sup>2</sup>. Já o Trecho empurrado 02, possui dimensões aproximadas de 20,50 metros de largura x 27 de comprimento, com 2 longarinas (1,90 para 1,20 metros de largura x 27 metros de comprimento x 3,40 metros de altura) e 9 transversinas típicas (17,60 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura), contendo 162 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões que variadas totalizando uma área de 553,5 m<sup>2</sup>. O processo de deslocamento em lado brasileiro, pode ser visto na figura 3.

O Trecho empurrado 03, conta com aproximadamente 20 metros de largura x 27 de comprimento, 2 longarinas (1,20 metros de largura x 27 metros de comprimento x 3,40 metros de altura) e 9 transversinas típicas (17,60 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura), onde esse segmento contém 162 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões iguais totalizando uma área de 540 m<sup>2</sup>.

O Trecho empurrado 04, possui dimensões aproximadas de 20 metros de largura x 27 metros de comprimento, com 2 longarinas (1,20 metros de largura x 27 metros de comprimento x 3,40 metros de altura) e 9 transversinas típicas (17,60 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura), contendo 162 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões iguais totalizando uma área de 540 m<sup>2</sup>.

E por fim, o Trecho empurrado 05, possuindo 20 metros de largura x 23,60 de comprimento, 2 longarinas (1,20 metros de largura x 23,60 metros de comprimento x 3,40 metros de altura) e 7 transversinas típicas (17,60 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura). O 5º trecho empurrado contém 126 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões iguais totalizando uma área de 472 m<sup>2</sup>.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



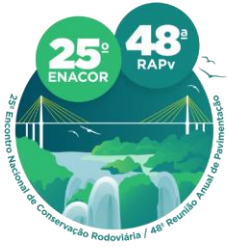
Figura 3. Vista Geral Aduela 6.01 e parte dos Trechos Empurrados (MOCELIN, 2021).

### Segmentos em lado Paraguuaio

No Trecho empurrado 01, as dimensões são de aproximadamente 20,50 metros de largura x 26,03 de comprimento, com 2 longarinas (1,90 metros de largura x 26,03 metros de comprimento x 3,40 metros de altura), 8 transversinas típicas (16,50 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura) e 1 transversina atípica (16,50 metros de largura x 1,50 metros de comprimento x 1,56 metros de altura). O 1º trecho empurrado contém 144 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões que variadas totalizando uma área de 533,61 m<sup>2</sup>. Já o Trecho empurrado 02, conta com 20,50 metros de largura x 28,13 de comprimento, 2 longarinas (1,90 para 1,20 metros de largura x 28,13 metros de comprimento x 3,40 metros de altura) e 9 transversinas típicas (17,60 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura). No 2º trecho empurrado contém 162 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões que variadas totalizando uma área de 576,66 m<sup>2</sup>. O deslocamento dos trechos em lado paraguaio, é representado na figura 4.

O Trecho empurrado 03, possui 20 metros de largura x 28,13 de comprimento, 2 longarinas (1,20 metros de largura x 28,13 metros de comprimento x 3,40 metros de altura) e 9 transversinas típicas (17,60 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura).

No 3º trecho empurrado contém 162 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões iguais totalizando uma área de 576,66 m<sup>2</sup>. E por fim, o Trecho empurrado 04, conta com 20 metros de largura x 27,72 de comprimento, 2 longarinas (1,20 metros de largura x 27,72 metros de comprimento x 3,40 metros de altura) e 9 transversinas típicas (17,60 metros de largura x 0,40 metros de comprimento x 1,56 metros de altura). O 4º trecho empurrado contém 162 unidades de pré-lajes de concreto Pré-fabricadas com dimensões iguais totalizando uma área de 576,66 m<sup>2</sup>. Ao todo, em lado paraguaio foram fabricadas e aplicadas 630 pré-lajes de concreto pré-fabricadas que correspondem a 352,32 toneladas.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Figura 4. Vista Geral Aduela 5.01 e parte dos Trechos Empurrados (MOCELIN, 2021).

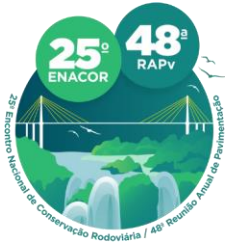
## MÉTODO APLICADO NOS DESLOCAMENTOS DOS TRECHOS

### Preparação dos Trechos

A Ponte possui 2 caixas de equilíbrio internas e 2 caixas externas sendo essas localizadas nas extremidades dos vãos de acesso laterais, em conjunto aos encontros da Ponte. De modo geral, as caixas de equilíbrio internas são estruturas dimensionadas para contrabalancear o peso do vão central, por isso possuem esse nome, bem como características próprias, dentre elas paredes e septos armados e protendidos tanto no sentido transversal, quanto longitudinal. A fim de facilitar a execução dos Trechos empurrados, essas estruturas foram divididas em 2 etapas de execução, sendo a 1ª etapa da caixa como um ponto de apoio e tabuleiro para confecção dos Trechos empurrados.

Com parte da estrutura das caixas internas prontas, foram realizadas as concretagens de regularização da superfície nas aberturas das protensões verticais dos septos longitudinais e posicionadas as chapas metálicas de aço ASTM A572 com 62 cm de largura e 8 mm de espessura, devidamente soldadas e fixadas nos septos, promovendo à superfície capacidade para o deslizamento do trecho empurrado sobre o apoio com o auxílio de graxa lubrificante. Para fixação dos macacos hidráulicos durante os processos de empurre, foram construídas 2 estruturas laterais denominadas pilares provisórios com o objetivo de evitar o deslocamento e/ou danos à caixa durante o processo em execução.

O sistema de cimbramento e formas para confecção dos Trechos em concreto armado, foi montado pela empresa PERI e consiste em escoras do tipo telescópicas com variação de altura através de sistema de travamento de pinos e roscas metálicos, possibilitando a desforma e retirada do sistema a cada finalização de concretagem. Concomitantemente com os serviços realizados sobre a caixa de equilíbrio, ocorreu a montagem do cimbramento provisório a frente da caixa de equilíbrio para soldagem das peças que compõe a aduela de disparo, fracionada em diversas peças quando unidas entre si formam uma aduela com 2 longarinas de 20 metros de comprimento x 1,20 metros de largura, interligadas por 7 transversinas e longarinas secundárias. O posicionamento das peças foi realizado na seguinte sequência: longarina montante, longarina jusante, transversina inicial,



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



transversina final e transversinas do meio, com ajuda do guindaste rodoviário LEIBHERR, modelo LTM-1250 51 de capacidade 252 t.

Para confecção dos Trechos empurrados 01, foram realizadas a montagem das armaduras das longarinas diretamente na estrutura, bem como as bainhas e cordoalhas de protensão. O sistema de protensão foi utilizado apenas nos primeiros segmentos, uma vez que serviu para interligar a aduela de disparo com a estrutura de concreto armado. Após a montagem total das armaduras e formas, ocorreu a concretagem do primeiro Trecho em lado brasileiro, onde após 3 dias foi realizada a desforma e cura úmida do segmento num todo, sendo posteriormente posicionadas as lajes pré-moldadas entre as transversinas do segmento, concretada a laje superior da estrutura, protendidas as cordoalhas e injetadas as bainhas de protensão.



Figura 5. Luvas metálicas de interligação entre os trechos em concreto armado e nichos de protensão externos concretados (MOCELIN, 2020).



Figura 6. Armadura das longarinas e transversinas sendo montadas (MOCELIN, 2021).

Assim, após cura total da peça, o Trecho encontrava-se apto para deslocamento ao próximo apoio. De modo geral, todos os Trechos empurrados foram confeccionados da mesma forma, o que diferencia os primeiros Trechos BR e PY para os demais, são as protensões para interligação à aduela de arranque do conjunto. Já as emendas dos demais Trechos, foram realizadas através de luvas metálicas interligando as barras de aço longitudinais formando assim um segmento único, visto na figura 5. A partir a execução do trecho 02 em diante BR e PY, as interligações dos trechos foram efetuadas com o traspasse entre as barras de aço, permanecendo então as luvas metálicas interligando o primeiro ao segundo trecho (figura 5). As formas das transversinas permaneceram sobre a caixa de equilíbrio interna enquanto o processo de empurre acontecia, de modo que após esse processo as formas possam ser realocadas no local exato para posicionamento das ferragens transversais. Foram reposicionadas as sapatas deslizantes abaixo das formas inferiores das longarinas (figura 8) do segundo trecho que fizeram a mesma função executada no primeiro empurre e conseqüentemente a montagem das armações das longarinas in loco, como visto anteriormente na figura 6.

O terceiro trecho empurrado é composto por um único tipo de trecho: típico. No trecho típico, as transversinas continuam com as mesmas proporções de tamanho até o final do trecho número 4, no trecho número 5 o que muda é apenas o comprimento das longarinas em relação aos demais trechos: permanecendo a largura de 20 metros e comprimento de 27 metros para 23,60 metros.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 7. Cordoalhas interligadas aos pilares provisórios para deslocamento dos trechos (MOCELIN, 2021).



Figura 8. Sapatas deslizantes utilizadas no deslizamento dos trechos sobre a caixa de equilíbrio interna (MOCELIN, 2020).

## Processo de deslocamento dos Trechos

Para o deslocamento dos Trechos foi feito o travamento entre os pilares principais da obra, pilares intermediários e caixas de equilíbrio com cordoalhas de aço tracionadas a uma força de aproximadamente 25kN cada uma (figura 9), tanto em lado brasileiro quanto paraguaio. Nos apoios intermediários foram instalados batentes guia e aparelhos de apoio unidirecionais de superfície material inox, fornecidos pela própria empresa terceirizada contratada para executar os processos de empurres dos Trechos na obra: PROTENDE MHK, com a finalidade de auxiliar o sistema de deslizamento e guiar o conjunto durante o empurre. Foram posicionados nos 2 pilares provisórios macacos hidráulicos (figura 10), responsáveis por puxar o conjunto a frente. Nas extremidades da retaguarda das longarinas montante e jusante instalaram os perfis de reação fixados por duas barras DYWIDAG na última transversina do conjunto. Esses perfis são unidirecionados por cabos interligando aos macacos hidráulicos de modo a movimentar todo o Trecho em sentido ao vão central da Ponte quando aplicada a força necessária, representado na figura 8 a seguir.

O primeiro Trecho da obra deslocado em direção ao rio Paraná, foi o Trecho 01 em lado brasileiro, onde a aduela metálica de disparo, em vão livre, é equilibrada apenas pelo peso do conjunto, enquanto que a estrutura de concreto desliza sobre a caixa de equilíbrio interna através de sapatas deslizantes posicionadas sobre chapas metálicas lubrificadas com graxa, engastadas na estrutura da caixa. Essas sapatas estão interligadas ao Trecho por meio de um adaptador com barra, parafusados nas faces externas das longarinas concretadas, como na imagem 8.

O processo do posicionamento da aduela de disparo sobre os aparelhos de apoio da travessa ocorreu em etapas pré-definidas pela própria empresa responsável pela execução do deslocamento do conjunto.

Na primeira fase a estrutura do bico de lançamento avança sobre o rolete do batente guia, antes mesmo de encostar no apoio deslizante fixado na travessa, cessou-se o lançamento, onde na segunda etapa ocorreu o acionamento do cilindro hidráulico sob o rolete, assim, dando continuidade, foi feito o levantamento da estrutura acima do apoio deslizante, possibilitando o bico de lançamento entrar em contato com o aparelho de apoio de inox fixado nos calços de concreto armado sobre a travessa.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Figura 9. Travamento dos pilares intermediários através de cordoalhas (MOCELIN, 2020).



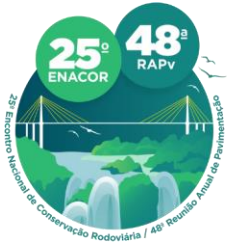
Figura 10. Macacos hidráulicos instalados nos pilares provisórios (MOCELIN, 2021).

Considerando a altura das chapas de neoprene e teflon, foi travada a rosca do cilindro hidráulico evitando possíveis movimentações da peça. O lançamento da estrutura continuou sendo executado até que a parte inferior horizontal da aduela de disparo ultrapassasse o eixo do apoio deslizante, assim o lançamento do tabuleiro foi paralisado e foram posicionadas as chapas de neoprene e teflon acionando o cilindro hidráulico, sendo abaixado lentamente até que a estrutura se apoiasse sobre o material, dando sequência então ao processo de empurre (figura 9). Uma solução muito parecida foi usada na ponte de 280m sobre o Wabash River, em Indiana (EUA – 1977), tendo-se deslocado em média um segmento de 14,0 m em 2,5 horas.

Essa primeira etapa, foi composta por um peso de deslocamento estimado de uma Aduela de disparo metálica de 20 metros de comprimento por 20,15 metros de largura, pesando pouco mais de 159 toneladas, 542 cordoalhas de aço protendidos em uma estrutura de concreto de 25,40 metros de comprimento por 20,50 metros de largura, com peso aproximado de 1278 toneladas. A primeira estrutura foi deslocada por aproximadamente 25,4 metros em direção ao leito do rio Paraná.

No segundo processo de avanço do conjunto (Aduela metálica, trecho 01 e trecho 02), ocorreram os posicionamentos dos macacos hidráulicos a frente das cabeças dos pilares da travessa do apoio intermediário mais próximo, bem como a partir do início do “empurre” dos trechos até a finalização do processo completo, todos os apoios permaneceram em travamento através das cordoalhas posicionadas nas extremidades das travessas e nos pilares provisórios à frente da caixa de equilíbrio interna.

A montagem dos seguimentos dos trechos continuou, em ambos os lados, brasileiro e paraguaio, onde os processos de execução seguiram padronizados, como locação de armadura e fechamento de formas das longarinas e transversinas, concretagem da estrutura completa, desforma, posicionamento das pré-lajes interligando as transversinas, montagem da laje superior, concretagem da mesma, cura do concreto e processo de empurre do conjunto dos trechos.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Figura 11. Aduela metálica 6.01 apoiada sobre a estrutura dos calços/travessa no apoio intermediário brasileiro (MOCELIN, 2020).



Figura 12. Perfil auxiliar posicionado no final do trecho a ser deslocado (MOCELIN, 2021).

Ressaltando algumas características gerais de que os primeiros trechos em concreto armado BR e PY são protendidos interligando às Aduelas 5.01 e 6.01 e possuem uma transversina robusta em cada um deles, os segundos trechos possuem uma transição de largura das longarinas com suas transversinas em transição também, e por fim apenas no 3° e 4° trechos empurrados as transversinas possuem as mesmas proporções de tamanho, assim como as longarinas que também mantém um padrão de largura, alterando apenas os comprimentos. Vale enfatizar que devido aos comprimentos totais dos vãos laterais de acesso BR e PY serem diferentes, o lado brasileiro possui 5 trechos em concreto armado enquanto o lado paraguaio possui um trecho a menos, ou seja, 4 segmentos.

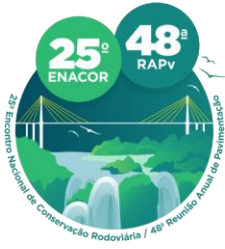


Figura 13. Processo de empurre do conjunto de aduela metálica e trechos em concreto armado, lado paraguaio (MOCELIN, 2021).



Figura 14. Processo de empurre do conjunto de aduela metálica e trechos em concreto armado, lado brasileiro (MOCELIN, 2021).

A cota do terreno em lado brasileiro é maior do que a cota em lado paraguaio, podendo facilitar o deslocamento em direção a margem do Rio Paraná e em lado paraguaio, devido a declividade, o esforço gerado pelos macacos hidráulicos era maior para que fosse deslocado o conjunto de toneladas à frente também em direção ao Rio. Os trechos dos avanços brasileiros tiveram suas execuções iniciadas em setembro/2020, sendo o primeiro deslocamento realizado em outubro do



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



mesmo ano, já em lado paraguaio, as execuções do primeiro trecho iniciaram apenas em dezembro/2020. A finalização do processo de execução e empurre completo dos trechos em lado brasileiro se deu em fevereiro/2021 totalizando uma média de execução de 1 trecho por mês com peso aproximado do conjunto de 5.520 toneladas, e em lado paraguaio as execuções bem como os deslocamentos dos foram finalizados em maio/2021 resultando em um peso do conjunto, aproximado de 5.100 toneladas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abrange o deslocamento dos trechos em concreto armado/protendido nos vão laterais de acesso da 2ª ponte entre Brasil e Paraguai, destacando as características gerais de cada segmento, bem como o processo executivo utilizado nas estruturas, desde a montagem até a finalização.

O desempenho observado durante os deslocamentos está relacionado com as dimensões de cada segmento, uma vez que os pesos das estruturas variam podendo assim gerar uma dificuldade maior ou uma carga de tempo estimada para tal processo. Outro fator diretamente relacionado ao empurre dos trechos foi a declividade da obra, visto que a cota em lado brasileiro é mais alta do que em lado paraguaio, ou seja a declividade favoreceu o processo de deslocamento dos segmentos BR, mas quando não estudada e planejada essa condição, pode ser prejudicial ao método executivo. Já em lado paraguaio, os macacos hidráulicos trabalharam nas condições opostas em relação a outra margem, assim tendo o risco de retorno do conjunto na direção contrária ao destino final.

Entretanto, pode-se afirmar que em todo o processo de deslocamento o objetivo foi alcançado, não tendo maiores dificuldades ou acidentes relacionados aos procedimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amancio D. T. & Baraldi L. T. Sistemas construtivos usados em pontes. XI Congresso de Educação do Norte Pioneiro, Anais, 2011.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – Manual de projeto de obras de arte especiais. Brasil, 1996.
- El Debs, Mounir Khalil. Introdução às pontes de concreto – Notas de Aula-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- Golebiewski, B. O Projeto e a Construção da Ponte Estaiada do Rio Paranaíba – Divisa MG-MS – BR 497. 1º Simpólio Internacional de Pontes e Grandes Estruturas. São Paulo, vol. 48, pp. 90-92, abril, 2008.
- Leonhardt, F. Construções de Concreto – Princípios básicos da construção de pontes de concreto, interciência, 1979.
- Mason, Jayme. Pontes em Concreto Armado e Protendido. 1ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.
- Moás, L. P. G. L. Análise do tabuleiro de pontes construídas pelo método dos avanços sucessivos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado, 1994.
- Rodrigues, R. A. A. Estudo econômico de processos construtivos de tabuleiros betonados in-situ em pontes de pequeno e médio vão. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado, 2008.
- Schmid, Manfred Theodor. Pontes estaiadas – um pouco de história. Concreto – IBRACON (Instituto Brasileiro de Concreto). São Paulo, vol. 48, pp. 90-92, abril, 2008.
- Stucchi, F. R. Pontes e grandes estruturas – Notas de Aula-Escola Politécnica, Universidade de São Paula. São Paulo, 1999.
- Torneri, P. Comportamento estrutural de pontes estaiadas: comparação de alternativas. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- Waimberg, M. O método dos lançamentos progressivos para execução de pontes em concreto protendido. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

**AGRADECIMENTOS:** Em especial, ao Consórcio Supervisor Ponte Brasil-Paraguai pela oportunidade de vivenciar e adquirir conhecimento em uma obra tão importante para o Estado do Paraná e o Brasil. Ao Marcus Arantes pelo incentivo na elaboração do artigo, bem como às minhas colegas de profissão Eduarda F. Valente e Cheila Beutler pelo auxílio prestado nos dias de elaboração.