



# **A CONSTRUÇÃO E O LANÇAMENTO DE PONTES PELO PROCESSO DOS SEGMENTOS EMPURRADOS**

**Autor: Profº. Manfred Theodor Schmid  
Rudloff Industrial Ltda.**

**3º Edição - 2005 - REV. 01**

# **3**

**PUBLICAÇÃO TÉCNICA**

# ÍNDICE

CAPÍTULO	DESCRIÇÃO	PÁGINA
	RESUMO	3
1	INTRODUÇÃO	3
2	CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO	4
3	PRÉ-CONDIÇÕES PARA USO DO PROCESSO	4
4	O PROJETO ESTRUTURAL	6
5	A CONSTRUÇÃO E O CANTEIRO	9
6	FORMAS	9
7	EQUIPAMENTO AUXILIAR	10
8	SEQÜÊNCIA DE TRABALHO	12
9	SUGESTÕES PRÁTICAS	13
10	CONCLUSÃO	14
11	ALGUMAS OBRAS MARCANTES	16
12	EXPERIÊNCIA BRASILEIRA DA RUDLOFF-VSL	17
	BIBLIOGRAFIA	18

# RESUMO

O Processo dos Segmentos Empurrados surgiu na Alemanha onde a Engenharia, partindo das ruínas da 2ª Grande Guerra, atingiu em algumas décadas um desenvolvimento extraordinário na construção de pontes em concreto protendido. Este desenvolvimento incorporou também a preocupação com a competitividade destas obras. O processo consiste na pré-fabricação dos segmentos atrás de um dos encontros da ponte, sendo cada segmento concretado e protendido diretamente contra o anterior. Após a sua cura, o conjunto todo é empurrado para a frente na distância de 1 segmento. Sua principal característica está na eliminação de cimbramento, facilidade de lançamento e substancial redução do prazo de construção. Presta-se para a travessia de rios com grande largura, razoável profundidade ou regime caudaloso; obras extensas e dificuldades de cimbramento. O presente trabalho tece considerações teóricas e descreve aspectos executivos das várias fases desta magnífica solução.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos 30 anos que seguiram à Segunda Grande Guerra, houve um desenvolvimento extraordinário na construção de pontes em concreto protendido, atingindo-se em poucos anos um ponto alto nas técnicas tanto de projeto quanto de execução. A partir daí, a fim de melhorarem sua competitividade, as firmas passaram a pesquisar soluções que reduzissem o custo principalmente de mão-de-obra. Uma destas soluções foi a dos Segmentos (ou Incrementos) Empurrados, aqui apresentada.

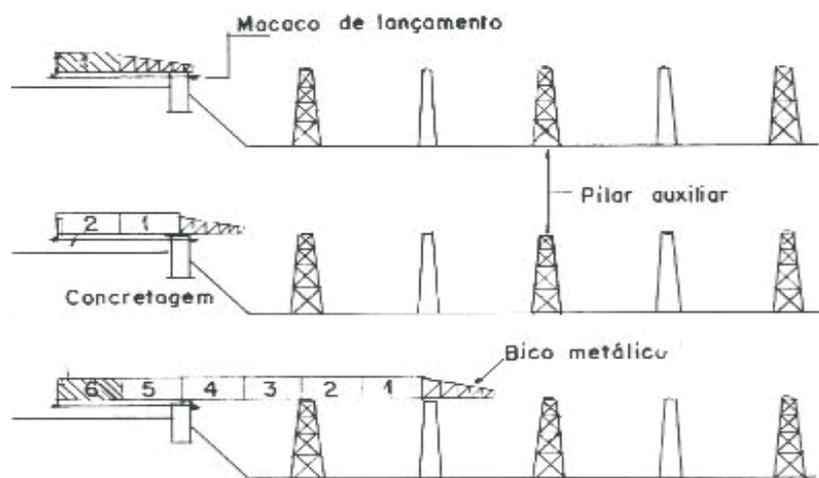


Fig. 1: Método construtivo

O processo foi idealizado e empregado pela primeira vez em concreto protendido em 1962 pelos engenheiros Fritz Leonhardt e Willy Baur na ponte sobre o rio Caroni na Venezuela, vencendo uma concorrência internacional de projeto para uma ponte sobre um rio com condições severas e variações na ordem de 20 m no nível de suas águas. O processo consiste na pré-fabricação dos segmentos atrás de um dos encontros da ponte sendo cada novo segmento concretado e protendido atrás e diretamente contra o anterior. Após a cura deste segmento, todo o conjunto é empurrado para a frente na distância de valor igual a uma unidade (1=segmento = 1 unidade).

O processo já vinha sendo utilizado há muitos anos em pontes metálicas uma vez que o aço pode ser tracionado ou comprimido indistintamente, fato que não é possível em concreto armado, mas o é agora em concreto protendido.

A Figura 1 mostra claramente como a superestrutura ao ser deslizada para frente, obriga todas as suas seções a trabalharem alternadamente à tração e à compressão.

Tem papel importante no caso o material de baixo coeficiente de atrito (Teflon) sobre o qual irá deslizar a ponte durante o seu lançamento.

O processo é econômico para vãos entre 30 e 60 m em pontes com o mínimo de 3 vãos e pelo menos 150 m de comprimento.

As muitas pontes bem sucedidas construídas neste processo pelo mundo afora atestam a sua viabilidade desde que existam as condições adiante referidas.

## 2. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

- Ausência total de escoramento
- O canteiro de trabalho é estacionário e pode ser coberto; é compacto, permitindo execução com esmero e rapidez.
- Os segmentos têm de 15 a 25 m de comprimento e são executados compassadamente, um por semana.
- Em princípio, não há juntas.
- Há alternância de solicitações em cada seção durante a fase de empurramento da superestrutura.
- A proa que avança em balanço é dotada de bico metálico resistente e leve, destinado a reduzir o momento fletor do mesmo.
- O equipamento hidráulico para o lançamento localiza-se no encontro a partir do qual a ponte é lançada.
- Os apoios da superestrutura são inicialmente deslizantes.
- Caso a altura da seção seja menor do que  $L / 17$ , pode-se tornar necessário o emprego de pilares provisórios entre os pilares definitivos da ponte. O objetivo é reduzir o tamanho dos vãos durante o lançamento.

## 3. PRÉ CONDIÇÕES PARA O USO DO PROCESSO

O processo dos Incrementos Empurrados pode ser usado em pontes com eixo longitudinal em tangente ou com raio de curvatura constante, tanto em planta como em elevação. (A ponte de Val Restel, na Itália, tem 320 m de comprimento e raio de curvatura em planta de 150 m).



Os vãos extremos devem ter comprimentos não maiores do que 75 a 80% do comprimento dos vãos internos, que por sua vez devem ser iguais entre si (vão – tipo).

A seção transversal mais adequada é a mono-celular com altura aproximada de  $L / 17$  do vão-tipo, nervuras longitudinais inclinadas, de modo a reduzir os balanços da laje superior e facilitar a desmoldagem.

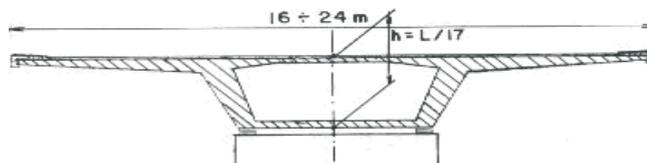


Fig. 2: Seção transversal

O canteiro de pré-fabricação localiza-se atrás do encontro, de preferência o de cota mais baixa a fim de que a ponte dotada de inclinação longitudinal seja empurrada em active, evitando-se assim o equipamento de frenagem.

As condições acima expostas são desejáveis, mas não imprescindíveis.

### 3.1 Características geométricas e físicas mais adequadas

EM PLANTA	BOM	ACEITÁVEL	RUIM
A ponte é reta	x		
Tem curvatura constante	x		
Tem curvatura variável			x
É uma curva numa só extremidade *		x	x

SEÇÃO LONGITUDINAL	BOM	ACEITÁVEL	RUIM
A ponte é reta	x		
Tem curvatura constante	x		
Tem curvatura variável			x
É curva numa extremidade *			x

(continuação da tabela anterior)

SEÇÃO LONGITUDINAL	BOM	ACEITÁVEL	RUIM
Desliza em aclive	x		
Desliza em declive *		x	
Formas normais, fáceis e de baixo custo		x	
Formas difíceis e caras	x		
Vãos de 30 a 50m	x		
Vãos acima de 50m *	x	x	
Vãos extremos com 75% do vão-tipo	x		
Vãos-tipo iguais	x		
Relação L/h entre 12 e 15	x		
Relação L/h maior que 17			x
Comprimento da ponte maior que 150 m	x		
Menor que 150 m		x	
Seção transversal celular	x		
Duplo T		x	
* Exige equipamentos ou precauções especiais			

### 3.2 Outras características que recomendam o uso do processo

- Pequeno canteiro disponível
- Ausência de equipamentos especiais
- Formas ou escoramento caros ou complicados
- Pouco tempo disponível para a construção
- Condições climáticas desfavoráveis
- Número mínimo de segmentos que justifique a sua produção seriada
- Mudança súbita do volume de água do rio

## 4. O PROJETO ESTRUTURAL

Apesar de sua conveniência, o processo dos Incrementos Empurrados foi até hoje poucas vezes usado no Brasil.

O sistema estrutural é o da viga contínua com a distribuição de vãos e seção transversal acima mencionados. Transversinas são previstas somente sobre os apoios e serão executadas no final de modo a não interferir com a movimentação das formas e escoramentos internos.

### 4.1 Cargas

Além das cargas normais em pontes, há a necessidade de serem considerados os esforços específicos inerentes ao processo. Estes esforços dizem respeito tanto à super como também à meso-estrutura e aos encontros da ponte.



Durante o deslocamento cada seção da superestrutura é submetida alternadamente a momentos positivos e negativos (ver Figura 3). O uso da protensão centrada no caso mantém as tensões de tração nos limites permitidos.

A força horizontal na direção do eixo da ponte necessária para o seu deslocamento é de até 6% do valor do peso a ser deslocado.

A força horizontal transversal proveniente da ação do vento é de no mínimo 1 a 2 % da carga vertical em pontes retas. Em pontes curvas, deverá ser calculada de caso para caso.

Após o seu lançamento a superestrutura terá de ser levantada em cada pilar para serem retirados os apoios de deslizamento e instalados os apoios definitivos. Durante o deslizamento o nível da superestrutura deve ser constantemente verificado a fim de evitarem-se problemas na sua passagem por sobre os apoios.

A força de atrito gerada na passagem da superestrutura sobre os pilares deverá ser absorvida pelos mesmos através de armadura, protensão ou estaiamento.

O encontro do lançamento deve absorver a força horizontal gerada nos macacos hidráulicos quando empurram a ponte, o que exige por vezes o reforço do encontro ou o seu atirantamento no solo. O valor máximo desta força em princípio ocorre ao ser empurrado o último segmento e com ele toda a superestrutura.

## 4.2 Protensão

A protensão centrada visa eliminar ou diminuir as tensões de tração no concreto durante a construção e decorre de um arranjo adequado dos cabos de modo que cada seção transversal receba uma compressão uniforme, não importando, pois, se as tensões de tração durante o lançamento ocorrem em cima ou em baixo na seção. A protensão centrada se faz a cada 2 ou 3 segmentos, alternadamente. Este tipo de protensão é inadequado para a estrutura no seu estado final não podendo tampouco ser adaptado para este fim. A adoção de um fator  $L/h$  relativamente baixo permite que a protensão central também seja baixa e econômica, mas que garanta sempre a necessária segurança à ruína durante o lançamento.

Os cabos de protensão centrados são retos e em geral situados nas lajes superiores e inferiores. Terminado o lançamento, procede-se à enfição e protensão dos cabos curvos e contínuos cuja configuração atende a cobertura dos momentos fletores decorrentes das sobrecargas permanentes, devidas à pavimentação, guarda-copos, barreiras, etc, bem como às cargas móveis. Os cabos são pós-enfiados nas nervuras e abrangem 2 ou 3 vãos de cada vez; saem no interior do caixão e são protendidos pelas duas extremidades.

A protensão centrada permanece, podendo em muitos casos, conforme projeto, ser necessária também uma protensão transversal.

## 4.3 Pilares e apoios

Os pilares costumam ser projetados para a ponte em função do seu objetivo final, onde as cargas diferem bastante das que ocorrem durante o lançamento. Durante a construção as reações verticais são menores porém é maior a força horizontal aplicada no topo, na direção do deslocamento, exigindo por vezes que os pilares sejam estaiados ou tenham suas seções transversais aumentadas. A força horizontal que surge no topo de cada pilar durante o deslizamento pode também ser anulada (ação-reação) por macacos hidráulicos instalados convenientemente no alto do próprio pilar.



Para pontes com vãos acima de 50 m é recomendável o emprego de pilares provisórios executados em estrutura metálica ou de preferência em concreto armado, por vezes feitos com peças pré-moldadas podendo, portanto, ser reaproveitados. Por razões econômicas as alturas desses pilares não devem ser superiores a 40 m. Estes pilares auxiliares normalmente não são projetados para resistirem às forças horizontais e devem, portanto, ser estaiados ou atirantados para trás. Este estaiamento para trás tem dupla finalidade: primeiro, reduz as tensões devidas ao atrito nos pilares durante o lançamento e, segundo, diminui a força horizontal no encontro e no berço de concretagem.

#### 4.4 Esforços solicitantes durante o deslizamento

**Caso a:** Momento negativo máximo no apoio  $M_B$ . (depende do peso e comprimento do bico).

**Caso b:** Momento positivo máximo entre os apoios A e B.

**Caso c:** Máximo  $M^+$  e máximo  $M^-$  ao longo da estrutura.

**Caso d:** Troca de apoios.

**Caso e:** Envolventes.

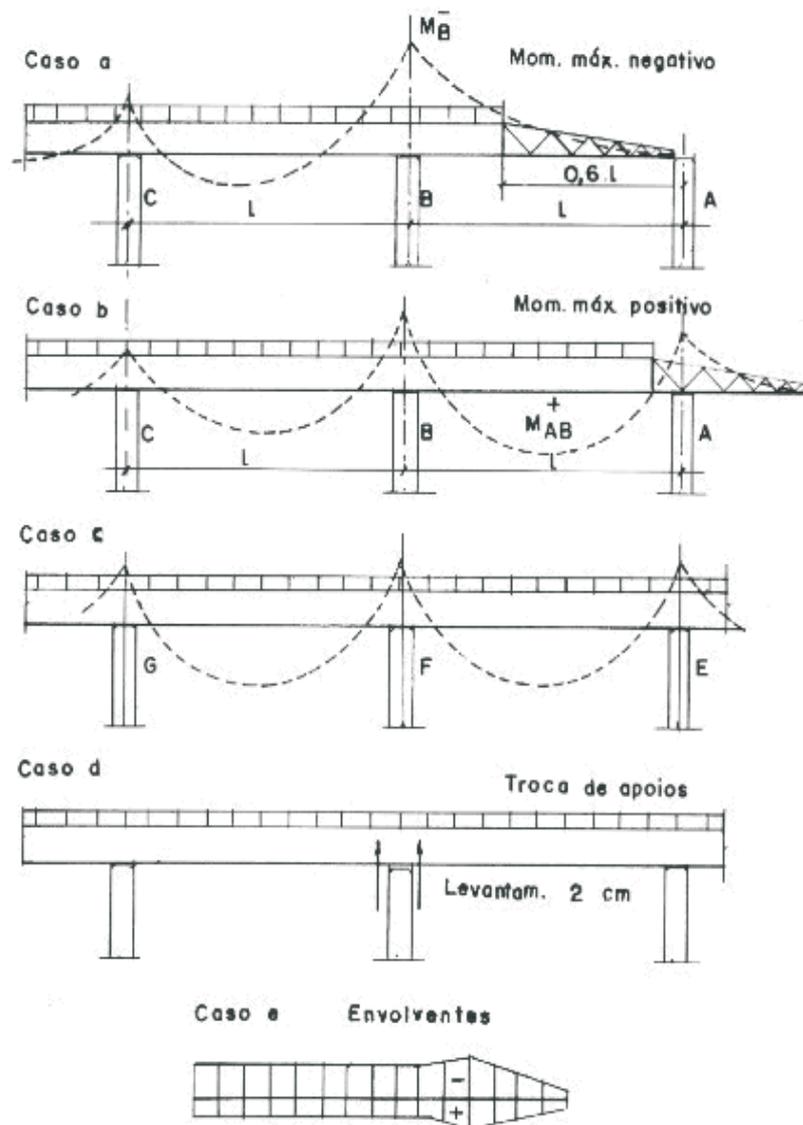


Fig.3: Envoltória dos diagramas de momento fletor

## 5. A CONSTRUÇÃO E O CANTEIRO

O processo dos incrementos empurrados reúne as vantagens oferecidas pela pré-fabricação com algumas vantagens da moldagem *in loco*. Assim, a área de fabricação é fixa, podendo ser coberta e protegida das intempéries. O concreto de preferência deve ser bombeado. As distâncias de transporte são pequenas e a concentração de equipamentos permite qualidade de execução normalmente só obtida em fábricas. As diversas etapas de trabalho se repetem compassadamente. A estrutura é monolítica, sem juntas fracas. Não há equipamentos pesados de lançamento.

A área de fabricação inclui as formas, a central de concreto, um guindaste sobre trilhos, a central de armadura frouxa e a de armadura ativa. Inclui ainda o equipamento de lançamento e eventualmente uma estrutura simples de concreto servindo de apoio para as formas.



Fig.4: Canteiro de fabricação

A construção costuma ser feita em duas etapas: na primeira é concretada na parte anterior do canteiro a laje inferior e pequena parte das almas do segmento. É colocada nesta laje parte dos cabos de protensão. Na segunda etapa, Forma II, são concretados o restante das almas e o tabuleiro. Em assim sendo, o berço de concretagem tem comprimento duplo, ou seja, de dois módulos consecutivos.

Quando da operação de empurramento, a armação do elemento seguinte parcialmente executado deve estar ligada por solda ao elemento recém-concluído, de modo a ser arrastada para dentro da forma.

## 6. FORMAS

Se a construção for feita em duas etapas, como acima mencionado, a forma da parte anterior, ou seja, da laje de fundo, deve ser bem acabada a ter o nivelamento constantemente verificado porque esta laje, além de servir de apoio e forma interior, será também a superfície deslizante durante o deslocamento da ponte.

O nivelamento desta forma deve ser passível de reajustamento, ou deve a forma ter uma fundação confiável, o que em regra não acontece por estar a mesma quase sempre sobre aterro recém-lançado. Recomenda-se a elaboração de um plano de controle deste nivelamento com registro contínuo de todos os valores.

A forma interna pode ser rebatida e removida e é facilmente reinstalada após cada ciclo. As formas externas também podem ser rebaixadas hidráulica ou mecanicamente, o que reduz a incidência da mão de obra (Figura 5).

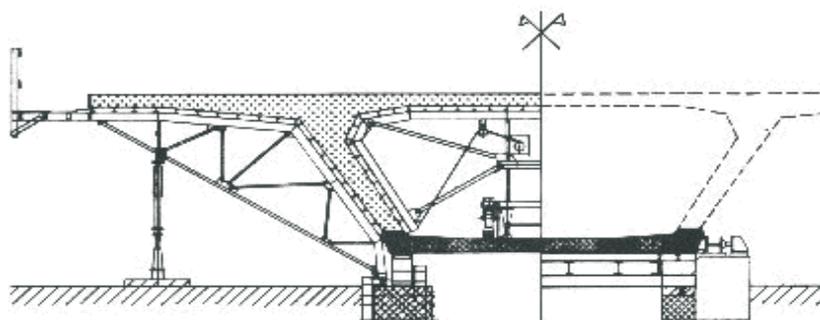


Fig. 5: Formas

É preciso que as formas permitam variações nas espessuras de laje de fundo e das almas; devem ser plastificadas e, quando utilizadas repetidas vezes, merecem ser metálicas.

## 7. EQUIPAMENTO AUXILIAR

### 7.1 Equipamento de movimentação

O equipamento que desloca horizontalmente a estrutura compõe-se de dois macacos de protensão hidráulicos apoiados no encontro e ligados por meio de dois cabos de protensão a um perfil metálico situado na parte anterior do módulo. Ao acionar os macacos, os cabos são tracionados e o módulo puxado em direção ao encontro, empurrando à sua frente a parte já pronta da superestrutura. A velocidade de deslizamento está entre 3 e 6 m/h (Figura 6).

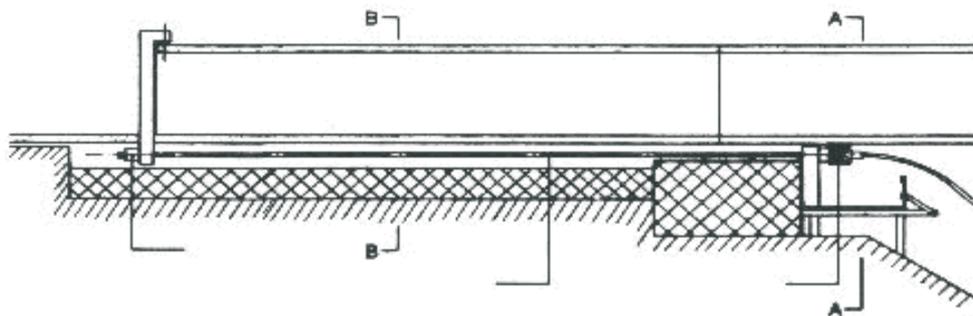


Fig.6: Equipamento de movimentação

Para escolha dos macacos consideramos que em condições normais e como já mencionado antes a força de atrito a ser vencida é de no máximo 6% do peso que se desloca. Caso o deslocamento se dê em aclave ou declive, o gradiente respectivo deve ser considerado.

Os elementos tensores usados para o deslocamento podem ser constituídos por cordoalhas de 12,7 ou 15,2 mm, utilizando-se coeficientes de segurança de pelo menos 2,5. Em condições normais estes tirantes podem ser utilizados até 20 vezes.

Caso as reações de apoio no encontro sejam suficientemente altas em relação à força horizontal necessária para o deslocamento, pode-se dispensar estes elementos tensores, utilizando a solução indicada na Figura 7.

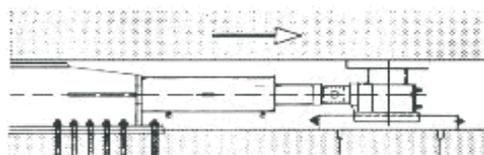


Fig. 7: Solução para movimentação da estrutura

A ponte agora se apóia alternadamente sobre uma placa ranhurada e sobre um apoio de descanso.

O macaco de suspensão levanta a ponte, o macaco de deslocamento a empurra de um valor igual ao comprimento do seu êmbolo. A seguir, a ponte é descida sobre o apoio de descanso enquanto os macacos voltam às posições iniciais. Esta solução foi usada na ponte de 280 m sobre o Wabash River, em Indiana (EUA – 1977), tendo-se deslocado em média um segmento de 14,0 m em 2,5 horas.

## 7.2 Apoios de deslizamento e apoios definitivos

Do equipamento auxiliar específico para o lançamento fazem parte os apoios provisórios de deslizamento e respectivas guias laterais reguláveis destinadas a manter a ponte no eixo durante o deslocamento (Figura 8).

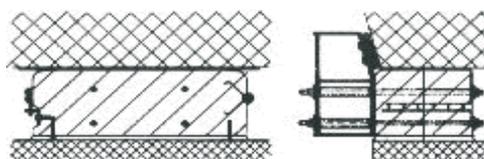


Fig.8: Apoio de deslizamento

Os apoios de deslizamento são blocos de concreto de resistência elevada,  $f_{ck}$  45 MPa, rigorosamente nivelados (tolerâncias de 1 a 2 mm), e revestidos superiormente com uma lâmina esticada de aço inoxidável. O perfil desta superfície deve ser tal que as mantas de deslizamento possam ser inseridas com facilidade. A face inferior das mantas fica em contato com o aço inox e a parte superior se solidariza por atrito, com o concreto da superestrutura. Estas mantas de elastômero fretadas tem 50x50x2 cm e possuem uma camada inferior de Teflon branco aplicado por vulcanização.

Entre a superestrutura e as guias laterais deve existir uma folga suficiente para permitir a introdução também de mantas de deslizamento, porém com dimensões menores, da ordem de 20x50x2 cm.

É necessária a verificação sistemática do nível dos apoios de deslizamento.

Depois de percorrer o berço de deslizamento, a manta cai a jusante e é novamente introduzida a montante no início do berço. Trabalha-se com um operador e três mantas de cada tipo por apoio, introduzidas uma já em seguida à outra durante todo o deslocamento da ponte.

No final do deslizamento, após a concretagem e cura das transversinas sobre os apoios, as guias laterais são removidas e os apoios de deslizamento substituídos pelos definitivos. Para tanto a superestrutura é levantada em 2 ou 3 cm em cada pilar (um de cada vez) por meio de macacos hidráulicos de suspensão, instalados ao lado dos apoios de deslizamento.

Mais recentemente tem-se usado os dois tipos de apoio acima reunidos num só. Os apoios definitivos da estrutura podem ser metálicos (fixos, unidirecionais ou multidirecionais), ou podem ser constituídos por placas de elastômero fretadas. Os aparelhos de apoio devem viabilizar os deslocamentos passíveis de ocorrer em função do comprimento do tabuleiro.

### 7.3 Bico metálico

O bico dianteiro é uma estrutura leve em geral metálica, constituída por duas vigas de alma cheia, devidamente contraventadas. É rigidamente solidarizada à proa da superestrutura e destinada a diminuir o momento fletor do balanço durante o deslizamento. Seu comprimento mais eficiente está entre 60 a 70% do comprimento do vão-tipo durante a construção. Seu peso depende do comprimento, mas costuma estar entre 1,5 e 2,0 tf/m, podendo ser maior para vãos acima de 30 m.

O valor da redução do momento fletor do balanço pode ser avaliado num exemplo real prático: um bico metálico de 15 m pesa 20 toneladas enquanto 15,0 m da superestrutura pesam 375 toneladas (viaduto Ravensbach – Holanda).

O bico será projetado em função dos máximos momentos a que estará submetido durante o lançamento. A sua ponta é levemente encurvada para cima a fim de "subir" suavemente sobre os pilares durante o deslizamento. Pode também dispor em sua extremidade dianteira, de um mecanismo de ajustagem para compensar deformações que ocorram durante o lançamento. É fixado ao primeiro segmento da ponte por meio de cordoalhas individuais protendidas contra próprio bico. Também a força cortante na separação entre treliça e concreto deve ser absorvida através de elementos metálicos soldados na treliça e concretados no primeiro segmento. Durante todo o deslizamento as mesas inferiores irão sofrer a ação das reações de apoio, razão pela qual as longarinas da treliça devem ter alma cheia.

O balanço da proa também pode ser equilibrado por meio de estais em forma de "V" invertido, passando por sobre um mastro, fixados na extremidade da superestrutura e simetricamente para trás. A solução, embora mais econômica, exige correção de comprimento dos estais com a variação de temperatura.

### 7.4 Estrutura de apoio

A fim de que os segmentos possam ser construídos e deslizados na altura conveniente, muitas vezes torna-se necessária a construção de uma estrutura auxiliar em concreto armado ou metálica sobre a qual se apoiarão os segmentos atrás do encontro a medida que forem sendo concretados e empurrados. Esta estrutura compõe-se de duas vigas longitudinais, transversais, pilaretes e fundações e será simplesmente aterrada após terminado o empurramento.

## 8. SEQUÊNCIA DO TRABALHO

Procura-se um ritmo de trabalho tal que numa semana, exatamente em 7 dias, possa ser concretado e empurrado um segmento. As operações pertinentes aparecem no quadro abaixo, no qual se vê que a concretagem é feita na 6ª feira ficando o final de semana para a cura do concreto a fim de que já na 2ª feira seguinte se possa protender e deslocar o segmento.

A equipe de trabalho se compõe de 40 a 50 operários qualificados e o método apresenta a vantagem da repetitividade, de modo que, mesmo uma equipe inexperiente, acaba por desempenhar o serviço com eficiência.

ETAPAS	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	SAB	DOM
Liberação das formas inferiores e lateral	II						
Protensão do segmento anterior	II						



Deslocamento	II						
Instalação da forma da laje inferior		IIII					
Instalação da forma externa		III					
Armadura da laje de fundo			IIII				
Instalação da forma interna			IIII				
Concretagem da laje inferior				III			
Armadura das almas e da laje superior				IIII			
Concretagem das almas e laje superior					IIII		
Cura do concreto				III	IIII	IIII	IIII

## 9. SUGESTÕES PRÁTICAS

- a. O melhor material testado para o deslizamento dos segmentos ao saírem da forma é a madeira laminada engraxada.
- b. Pilares provisórios quando necessários, podem ser constituídos por componentes pré-moldados, de modo a permitir fácil desmonte e reutilização.
- c. O estaiamento de pilares e suportes auxiliares pode ser feito com estais inclinados ou por fixação horizontal de cada pilar ao encontro de lançamento. Estes estais podem ser constituídos por cordoalhas individuais de protensão, ou por cabos completos de protensão.
- d. Embora o processo dos incrementos empurrados consuma uma quantidade maior de aço do que em pontes construídas sobre escoramento, o acréscimo é seguramente compensado pelas reduções que ocorrem nas formas e na mão-de-obra.
- e. A protensão e o deslizamento devem ser contratados junto e executados de preferência pela mesma empresa. O uso de uma mesma equipe para os dois serviços reduz o custo e o tempo ocioso dos operários.
- f. O uso de formas metálicas implica por vezes na adoção de uma seção transversal constante em toda a superestrutura, mesmo sobre os apoios.
- g. Deve ser dada atenção especial à precisão na execução das formas a fim de serem evitados erros acumulados no final da construção.
- h. No caso muito freqüente de superestrutura formada de dois caixões monocelulares, procede-se o lançamento de todos os segmentos de um mesmo caixão e depois do outro, em separado e com o mesmo equipamento. A faixa de laje entre os caixões e as transversinas é concretada posteriormente (Figura 9).

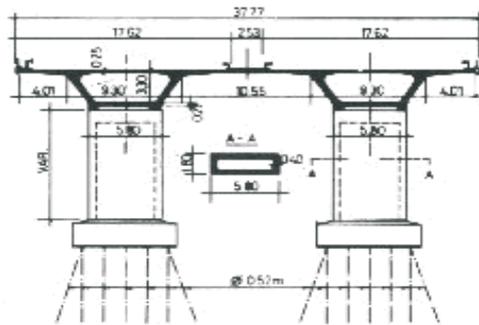


Fig.9: Superestrutura de dois caixões

- i. Para a protensão longitudinal os cabos em geral são protendidos por ambas as extremidades, a fim de reduzir as perdas por atrito.
- j. A seção com vigas I, embora pouco usada, é mais simples que a celular. As formas simplificam-se, mas é importante que as mesas inferiores tenham dimensões suficientes para a compressão que surge nos momentos negativos.
- k. Embora o ritmo normal de trabalho seja de 1 segmento/semana, os primeiros segmentos com frequência demoram mais tempo.
- l. Em lugares de clima muito severo, o canteiro de trabalho pode ser não só coberto mas todo fechado (foi o caso da ponte sobre o rio Lule no norte da Suécia, onde a temperatura anual média foi de +2° C.).

## 10. CONCLUSÃO

A rentabilidade do processo provém por um lado dos baixos custos de investimento de instalação e por outro lado da redução substancial do prazo de construção e das despesas ao mesmo vinculadas. As condições de fabricação muito se assemelham às da pré-fabricação. As formas são fixas e a pequena movimentação que delas se exige pode ser facilmente mecanizada. As distâncias de transporte de armadura frouxa e de concreto são pequenas, podendo quase sempre ser atendidas por um guindaste fixo.

Todas as etapas de trabalho se repetem compassadamente com frequência relativamente alta de modo que já após a 2ª ou 3ª repetições o desempenho se otimiza. Os compassos levaram à denominação alemã "Taktschiebeverfahren", ou seja, avanços compassados, dada por Leonhardt ao processo por ele criado e que não se restringe à construção de pontes. Há interessantes aplicações até mesmo na construção de edifícios.

A compacidade do canteiro de fabricação permite uma boa supervisão do trabalho. A proteção do canteiro mediante cobertura e até mesmo fechamento lateral liberam a obra dos inconvenientes climáticos permitindo uma produtividade de 80 a 120 m de ponte ao mês.

Os custos com formas e escoramentos são sensivelmente menores que na solução com escoramento ou estruturas de lançamento. Apoios e equipamento de deslizamento, bastante racionalizados, também têm o custo baixo. Pilares provisórios necessários em superestruturas esbeltas podem ser simples e reaproveitáveis.

O inconveniente da solução – o aço de protensão a mais, necessário para a protensão centrada, pode apenas em parte ser aproveitado na protensão de continuidade, não compensando, em geral, a sua retirada posterior. Por

outro lado, como a superestrutura ao receber a protensão final já está em média com vários meses de cura, reduzem-se sensivelmente as perdas devidas retração e deformação lenta.

O processo costuma ser econômico a partir de 150 m; para pontes menores somente quando as condições físicas (altura, dificuldade ou impossibilidade de escoramento) forem muito desfavoráveis. A economicidade será tanto maior, quanto mais longa for a ponte e maior o número de compassos. É possível lançar de um só canteiro de fabricação de 400 a 600 m de ponte. A ponte sobre o Rio Pó em Messora, Itália, tem 1360 m lançados a partir de um mesmo encontro. A Aichtalbrücke próxima à cidade de Stuttgart, no Sul da Alemanha, tem 1161 m lançados de um só canteiro de trabalho. Os vãos são de 51 m e o vão central tem 84 m. É um exemplo magnífico da versatilidade do Processo dos Incrementos Empurrados.

Seria desejável que as pontes pudessem ser padronizadas, a fim de permitir a reutilização das formas em diversas obras, com sensível redução de custos.

O criador deste Processo, Prof. Leonhardt, manifestou em determinada ocasião ao autor do presente trabalho a opinião: "O processo parece-me particularmente adequado às circunstâncias brasileiras."

Louvem-se pois os engenheiros e empresários que ousaram assumir, principalmente no Brasil, a responsabilidade e as dificuldades das obras pioneiras em que se usou esta interessante solução.

# 11. ALGUMAS OBRAS MARCANTES

## 11.1 Ponte sobre o Rio Caroni - Venezuela, 1961 - obra pioneira no mundo

Projeto:	Escritório Técnico Leonhardt u. Andrä.
Extensão:	480 m.
Vãos:	48,0 e 96,0 m com pilares auxiliares.
Seção:	Caixão monocelular.

## 11.2 Ravensbosch Viaduct, Netherlands, 1972-74

Projeto:	Bouvy, van der Vlugt.
Extensão:	420 m.
Vãos:	42,00 - 6x56,00 - 42,00 m.
Seção:	2 caixões monocelulares, altura 3,30 m.

## 11.3 Horomoi Bridge, Japan, 1973

Projeto:	Osaka Consultant, Tokyo.
Extensão:	170 m.
Vãos:	52,50 - 63,00 - 52,50 m.
Seção:	Caixão monocelular, altura 3,00 m.

## 11.4 Gäddvik Bridge, Sweden, 1977-78

Projeto:	ELU – Consultant, Stockolm.
Extensão:	614 m.
Vãos:	37,00 - 12x45,00 - 37,00 m.
Seção:	Caixão monocelular, altura 2,45 m.

## 11.5 Talbrücke Rottweil-Neckarburg, Alemanha, 1975-78

Projeto e construção:	Ed. Züblin AG.
Extensão:	365 m.
Vãos:	3x30,00 - 7x22,14 - 4x30,00 m.
Seção:	2 caixões monocelulares.
Altura dos pilares:	até 65,45 m.
Sistema estrutural:	Ponte em arco, vão de 154,40 m, tabuleiro lançado pelo Processo dos Incrementos Empurrados, com pilares apoiados em parte sobre o arco.

## 11.6 Aichtgalbrücke, Stuttgart, Alemanha

Projeto:	Leonhardt u. Andrä.
Extensão:	1161 m.
Vãos:	3x51,00 - 80,00 - 8x51,00 - 65,00 - 84,00 - 65,00 - 6x51,00 m



Foram utilizados 4 pilares auxiliares.

Seção: 2 caixões monocelulares, altura 3,50 m.

Raio em planta: 1500 m.

## 12. EXPERIÊNCIA BRASILEIRA DA RUDLOFF-VSL

### 12.1 Pasarela sobre a Fepasa na Estação de Presidente Altino, SP

Projeto Maubertec Engenharia e Projetos Ltda.

### 12.2 Ponte sobre o Rio Jordão - PR, 1980-81

Dono da obra: Companhia Paranaense de Energia – Copel.

Projeto: Proa Projetos e Assessoria Ltda.

Construtor: Construtora Gemar Ltda.

Extensão: 159,28 m.

Vãos: 31,64 - 3x32,00 - 31,64 m

### 12.3 Ponte sobre o Rio Pardo - SP, 1982-83

Projeto: Eng. Sérgio Marques de Souza.

Construtor: Sobrenco.

Extensão: 203 m

Vãos: 31,50 – 3x42,00 – 31,50 m

Seção monocelular, altura 3,0 m



## BIBLIOGRAFIA

1. LEONHARDT, F.; BAUR, W. *Erfahrungen mit dem Taktschiebeverfahren im Brücken- und Hochbau*, Beton und Stahlbetonbau 6, 161 – 167, Berlin (1971).
2. *The incremental launching method in prestressed concrete bridge construction*, folheto, VSL International, Berna (1977).
3. SCHÜPBCH, F. *The incremental launching method in prestressed concrete bridge construction* (complemento), publicação interna, VSL International (1978).
4. WÖSNER, K.; GEBHARDT, H.; SCHABEL, R.; WÖRNER, H. *Talbrücke-Rottweil-Neckarburg*, Beton- und Stahlbetonbau 10, 237-264, Berlin (1979).
5. MARQUES DE SOUZA, S. *Pontes em concreto protendido executadas por empurramentos sucessivos*, Anais do seminário sobre concreto protendido, Ass. Bras. de Pontes e Estruturas, 423-461, Rio de Janeiro (1983).
6. BASSE, H.; GÖHLEB, B.; HAUSSMANN, J. *Bau der Aichtalbrücke*, Beton- und Stahlbetonbau 1,19-24, Berlin (1985).
7. BORGES, L.A. *Processo de execução de pontes e viadutos em lançamento por incrementos*, em contribuições de Maubertec ao 9º ENCO (Encontro Nacional de Construção).

Direitos Autorais de propriedade da Rudloff Industrial Ltda .  
Permitida a reprodução desde que mencionada a fonte.

