



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## Tabuleiros de Pontes Executados sobre o Solo – Uma Análise Comparativa entre Alternativas de Execução

Rafael Norcia<sup>1</sup>, Henrique Dinis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dersa / Coordenação de Projetos / rafael.norcia@dersa.sp.gov.br

<sup>2</sup>Universidade Presbiteriana Mackenzie / Engenharia Civil / dinis@mackenzie.br

### Resumo

As obras viárias urbanas apresentam várias peculiaridades construtivas em função das muitas interferências, a exemplo, outras vias, edificações lindeiras, instalações de serviços públicos, dentre outros. Ao se estudar em projeto o eixo de uma via, depara-se com várias alternativas de traçado que impõe diferentes soluções estruturais e construtivas para as Obras de Arte Especiais. Neste trabalho, quer-se abordar a questão de execução de tabuleiros de obras de transposição, ao nível do terreno, com posterior escavação do solo sob suas estruturas, para a passagem inferior da via em implantação. Este processo construtivo é comum quando se deseja manter em tráfego outras vias, ou em operação, tubulações que interceptam o projeto, até que sejam concluídas suas variantes estruturais. A alternativa em tabuleiros com vigas pré-moldadas se apresenta sempre competitiva para vãos médios da ordem de 40,0 m, porém, na condição exposta de execução sobre o solo, os tabuleiros moldados “in loco” ganham a vantagem de dispensar cimbramentos ou equipamentos de lançamento de vigas, como é o caso das vigas pré-moldadas. Neste contexto, as duas alternativas se tornam competitivas para a escolha do sistema estrutural do tabuleiro. São assim estudados, neste trabalho, os condicionantes que levam à decisão sobre uma ou outra alternativa e as particularidades dos métodos construtivos que pesam na decisão. Para embasar o trabalho, são referência três estudos de alternativas de obras nesta situação, pertencentes ao Rodoanel Mário Covas Trecho Norte, executadas pela DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S.A..

### Palavras-chave

Execução de Pontes; Processos Construtivos; Tabuleiros Executados sobre o Solo.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



## Introdução

A decisão sobre um sistema estrutural de pontes é sempre dependente do projeto geométrico viário da via, tipo e peculiaridades da ocupação das faixas lindeiras e eventuais interferências existentes. O projeto geométrico da via é o fator que mais condiciona a concepção dos sistemas estruturais e construtivos a serem escolhidos para uma Obra de Arte Especial. Função do projeto geométrico, a via pode simplesmente transpor outra via através de travessias, que podem ser superiores ou inferiores. Nem sempre é a OAE quem vai ditar a melhor condição de transposição, entrando aí outros fatores independentes à otimização dos sistemas estruturais e construtivos, como o tipo de ocupação das faixas lindeiras e interferências com a geometria da obra, que podem simplesmente inverter as decisões que poderiam ser tomadas em função de fatores econômicos, a exemplo. Quer-se dizer, não existem regras fixas ou roteiros para a implantação de uma OAE, cada projeto tem suas peculiaridades que os fazem únicos.

Neste trabalho, deseja-se efetuar um recorte no estudo de implantação das OAE, qual seja, o de viadutos em rodovias a serem implantadas em perímetro urbano. O que caracteriza estas obras, especialmente, é a dificuldade em deslocar eventuais travessias, ou remanejar interferências, de modo a se obter melhores condições geométricas para sua efetivação, como é usual em regiões rurais. Procede-se assim, ao mero desvio provisório da via a ser transposta, para dar lugar em seu leito original, a uma travessia superior ou inferior sobre a nova via.

No caso, está-se discutindo a construção de uma travessia superior, através da execução de um tabuleiro de pontes sobre o nível do terreno, que, uma vez concluídas as obras, escava-se sob as estruturas do tabuleiro, descalçando as fundações até o nível da via, que passam então a fazer o papel conjunto de meso/infraestrutura. Utilizam-se normalmente para as fundações, estacas de grande diâmetro, tubulões ou estacões, em geral, com diâmetro suficiente para uma vez desconfinados, não venham a apresentar problemas de instabilidade à esbeltez excessiva. As duas alternativas estruturais e construtivas mais competitivas, no caso em estudo, são as pontes com tabuleiros moldados “in loco” e com vigas pré-moldadas.

A alternativa em tabuleiros com vigas pré-moldadas se apresenta sempre competitiva, para vãos que possibilitem o lançamento das vigas através dos equipamentos usuais, até a ordem de 40,0 m. Os tabuleiros moldados “in loco” ganham a vantagem de dispensar cimbramentos ou equipamentos de lançamento de vigas, podendo perder devido aos maiores custos com



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



formas e maior consumo dos materiais aço e concreto. Cabe a cada caso, efetuar um estudo de análise técnica com composição dos unitários de orçamento bem detalhados. A seguir, fazem-se considerações específicas sobre cada uma das alternativas.



**Figura 1 – Imagem de obra no Rodoanel Oeste – alternativa em vigas pré-moldadas.**



**Figura 2 - Imagem de obra no Rodoanel Oeste – alternativa em caixão perdido.**

## **Alternativa em Vigas Pré-Moldadas**

No caso específico, construtivamente, as pontes em vigas pré-moldadas executadas sobre o solo em nada se diferem das mesmas, em condição de elevadas. Poder-se-ia tentar otimizar a execução, no caso de um único vão, executando-se cada longarina, diretamente em seu local definitivo, utilizando-se um único jogo de formas de pequeno reaproveitamento, transformando a obra em moldada “in loco”. Pode parecer ilógico, mas o modelo de tabuleiros assim concebidos leva a uma economia significativa de materiais, concreto e aço – a despeito da maior área de formas. Mas, de forma geral, mesmo que incoerente pareça, as



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



obras assim concebidas são estudadas com a mesma lógica de execução e planejamento, que uma obra em condição de elevada. O maior condicionante para sua competitividade vem a ser os custos de mobilização de equipamentos e com canteiro de obras. Como em qualquer tabuleiro em vigas pré-moldadas, quanto maior a obra, mais se diluem os custos fixos, no entanto, maior será o tamanho do canteiro e também, as distâncias de transporte das vigas e demais peças pré-moldadas. Há que se equacionar todos estes fatores para se conseguir uma solução viável diante dos recursos disponíveis, inclusive de espaço, que leve aos menores custos possíveis, atendendo às limitações de prazo. Isoladamente, este é o dia a dia do engenheiro construtor, mas quando se busca os menores custos para competir com outra alternativa, a simultaneidade de tantos fatores intervenientes faz com que a análise e interpretação não seja tão óbvia.

## **Alternativa em Tabuleiros Moldados “In Loco”**

Igualmente às pontes em vigas pré-moldadas executadas sobre o solo, construtivamente, as pontes em tabuleiros moldados “in loco” em nada se diferem das mesmas, em condição de elevadas, neste caso específico, unicamente, não haverá custos com cimbramentos, mas somente, os escoramentos das formas do tabuleiro. Para serem competitivos, seus tabuleiros devem ser concebidos em estrado celular (caixão perdido), valendo-se assim da vantagem do efeito de continuidade entre os vãos. Para tabuleiros com um único vão, cabe estudos mais específicos da seção transversal, eventualmente, a mera retirada da laje inferior do caixão, ou mesmo, uma composição semelhante ao de vigas pré-moldadas, mas com a eliminação do bulbo inferior das longarinas. Normalmente, os tabuleiros constituídos de seção em caixão perdido são dotados de poucas longarinas, nos casos usuais, geralmente duas, implicando em grandes volumes de lajes, mas por outro lado, superfícies de formas muito menores que às dos tabuleiros em vigas pré-moldadas, apesar do aumento no consumo dos materiais aço e concreto. Esta é a vantagem que traz a maior condição de competitividade a esta alternativa, já se assumindo a não utilização de cimbramentos.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



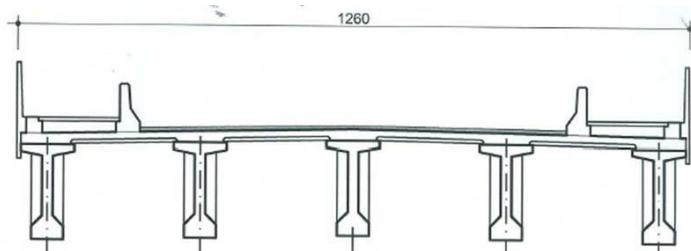
## Estudos de Caso

Para embasar o trabalho, são referências três estudos de alternativas de obras nesta situação, pertencentes ao Rodoanel Mário Covas Trecho Norte, executadas pela DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S.A.. Dois deles semelhantes, devido à similaridade de seus sistemas estruturais: *Obra 507 do Lote 5*, com dois vãos de 30,0 m e *Obra 471 do Lote 4*, com dois vãos de 40,0 m. Ambos serão analisados conjuntamente. O terceiro, refere-se à *Obra 422 do Lote 4*, originalmente concebida com dois vãos centrais de 30,0 m, acrescidos de dois vãos laterais de 25,0 m, vindo posteriormente a ser objeto do estudo de alternativas.

### Estudo das Obras 507 do Lote 5 e 471 do Lote 4

A obra 507 do Lote 5 foi concebida com dois vãos de 30,0m e a Obra 471 do Lote 4, com dois vãos de 40,0 m, ambas com largura de 11,90 m. A necessidade de se executar a superestrutura de ambas as obras antes de realizar a escavação, ocorreu em função de interferências observadas no local. Para a análise, consideraram-se somente as partes que se diferenciam entre as duas alternativas, no caso, as estruturas do tabuleiro e as travessas dos pilares centrais.

Para a alternativa em vigas pré-moldadas, utilizou-se em ambas as obras, projetos padrão tipo Dersa, disponibilizados para os vãos considerados e para a largura de 12,60 m.



**Figura 3 – Obras 471 e 507 – alternativa em vigas pré-moldadas.**

Para a alternativa em vigas caixão, não se teve a disposição projetos padrão, recorrendo-se a índices típicos para esboçar a seção transversal do tabuleiro e formar os unitários de serviço.

Procurou-se unificar os unitários e os respectivos preços para as duas alternativas. Os preços assumidos são os da tabela de preços Dersa. A seguir, são apresentados os esquemas das



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21,22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

seções transversais para a alternativa em vigas tipo caixão, assim como, um quadro indicativo de custos para os principais itens considerados nos estudos.

## OBRA 507 – 2 x 30,0 m

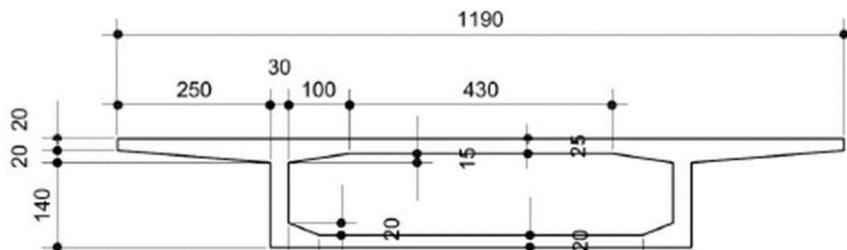


Figura 4 - Obra 507 para dois vãos de 30,0 m – alternativa em caixão perdido.

### ALTERNATIVA EM VIGAS PRÉ-MOLDADAS

FORMA PLANA P/CONC.PROTEND.OU APARENTE	60864,56
FORMAS METALICAS ESPECIAL P/ VIGAS	63509,22
CONCRETO FCK 25 MPA	19433,78
CONCRETO FCK 35 MPA	171131,38
BARRA DE AÇO CA-50	268.396,76
AÇO PARA CONCRETO PROTENDIDO	113885,61
AP.ANC.P/CABOS PROTEN.ATIV.12FIOS-12,7MM	24837,6
LANÇAMENTO DE VIGAS COM TRELIÇA. ATÉ 120TF	187.991,90
<b>TOTAL:</b>	<b>910.050,81</b>

### ALTERNATIVA EM VIGAS CAIXÃO

FORMA PLANA P/CONC.PROTEND.OU APARENTE	105385,28
FORMAS METALICAS ESPECIAL P/ VIGAS	8057,14
CONCRETO FCK 25 MPA	159433,85
CONCRETO FCK 35 MPA	380.992,50
BARRA DE AÇO CA-50	146.683,25
AÇO PARA CONCRETO PROTENDIDO	20.176,96
AP.ANC.P/CABOS PROTEN.ATIV.12FIOS-12,7MM	
LANÇAMENTO DE VIGAS COM TRELIÇA. ATÉ 120TF	
<b>TOTAL:</b>	<b>820.728,2</b>

Figura 5 - Obra 507 para dois vãos de 30,0 m – custos para as duas alternativas.

## OBRA 471 – 2 x 40,0 m

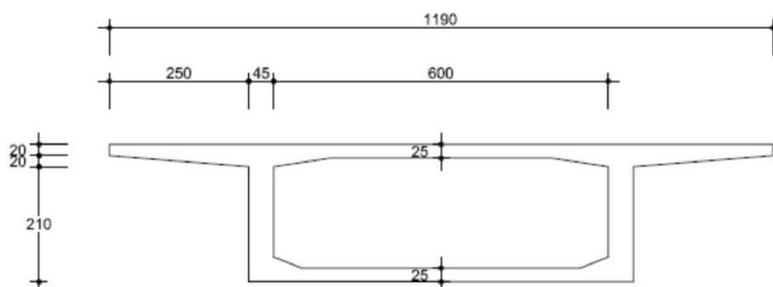


Figura 6 - Obra 471 para dois vãos de 40,0 m – alternativa em caixão perdido.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## ALTERNATIVA EM VIGAS PRÉ-MOLDADAS

FORMA PLANA P/CONC.PROTEND.OU APARENTE	77031,12
FORMAS METALICAS ESPECIAL P/ VIGAS	108002,79
CONCRETO FCK 25 MPA	22342,76
CONCRETO FCK 35 MPA	202706,11
BARRA DE ACO CA-50	370997,76
ACO PARA CONCRETO PROTENDIDO	213108,86
AP.ANC.P/CABOS PROTEN.ATIV.12FIOS-12,7MM	31047
LANÇAMENTO DE VIGAS COM TRELIÇA. ATÉ 120TF	197991,91
TOTAL: 1.213.228,3	

## ALTERNATIVA EM VIGAS CAIXÃO

FORMA PLANA P/CONC.PROTEND.OU APARENTE	162427,88
FORMAS METALICAS ESPECIAL P/ VIGAS	
CONCRETO FCK 25 MPA	9068,53
CONCRETO FCK 35 MPA	250188,47
BARRA DE ACO CA-50	445121,44
ACO PARA CONCRETO PROTENDIDO	256488,87
AP.ANC.P/CABOS PROTEN.ATIV.12FIOS-12,7MM	19870,08
LANÇAMENTO DE VIGAS COM TRELIÇA. ATÉ 120TF	
TOTAL: 1.123.351,74	

Figura 7 - Obra 471 para dois vãos de 40,0 m – custos para as duas alternativas.

Verifica-se certa homogeneidade nos resultados dos dois estudos. A despeito de se ter trabalhado com dois vãos distintos, chegou-se a valores para as duas alternativas bem semelhantes. Pode-se identificar que a alternativa moldada “in loco”, para vãos abaixo de 30,0 m, poderá tornar-se mais competitiva, a exemplo, pela possibilidade de melhor balanceamento da seção a partir de três ou mais longarinas, reduzindo sobremaneira os quantitativos de obra. Deve-se considerar nas presentes análises, as distorções que podem ter ocorrido por não se ter desenvolvido nos estudos, pelo menos ao nível de básico, projetos para a alternativa moldada “in loco”, o que eleva as margens de incorreção na avaliação dos custos da obra.

## Estudo da Obra 422

Esta obra teve como objetivo manter a travessia na Av. Benjamin Harris Hunnicut sobre o Rodoanel. No projeto básico essa travessia superior estava alinhada ao seu eixo atual e previa solução estrutural em vigas pré-moldadas. Para o projeto executivo, para possibilitar a manutenção do tráfego local durante a execução das obras, a pista será deslocada lateralmente em cerca de 20 m, possibilitando a execução da superestrutura com escavação posterior. A obra foi concebida originalmente com dois vãos centrais de 30,0 m, acrescidos de dois vãos laterais de 25,0 m, resultando para o apoio central, uma altura da mesoestrutura de 21,0 m. No



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:

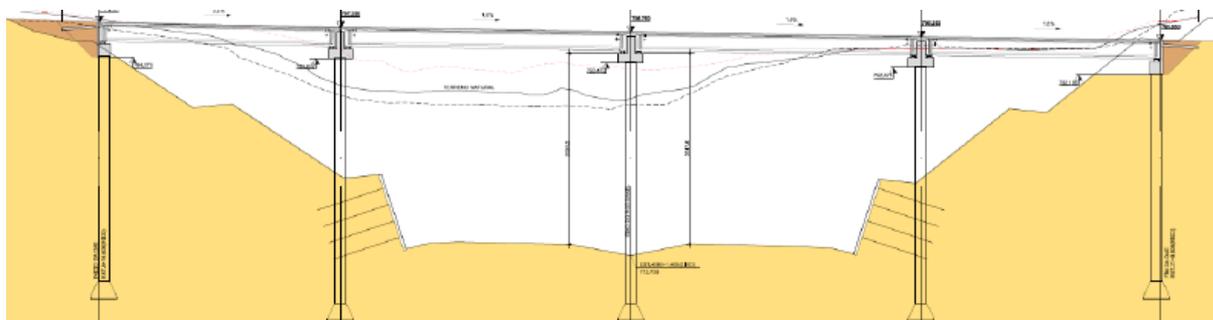


COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

estudo de alternativas, esta solução prevaleceu para a alternativa pré-moldada. Para a alternativa moldada “in loco”, os vãos foram redistribuídos a partir de um novo dimensionamento, propondo-se três vãos contínuos, um central de 53,0 m e dois laterais de 30,0 m, com o objetivo conveniente de eliminar um dos conjuntos meso/infraestrutura. Para o estudo de alternativas, foram estudadas as obras por completo, Super e Infraestrutura.

### Alternativa em vigas pré-moldadas

Para obtenção dos quantitativos e estimativa de custos, foram tomados como base, os projetos padrão Dersa para os respectivos vãos. Para as fundações adotou-se tubulões  $\Phi$  160 cm.



**Figura 8 - Obra 422 para alternativa em vigas pré-moldadas – perfil longitudinal.**

Seguem os resumos dos custos para esta alternativa em questão, com os principais itens analisados. Para estimativa dos custos foram tomados como base os preços unitários da proposta de preços do Dersa, para a obra em questão.

### ALTERNATIVA EM VIGAS PRÉ-MOLDADAS

#### SUPERESTRUTURA

FORMA PLANA P/CONC.PROTEND.OU APARENTE	123704,88
FORMAS METALICAS ESPECIAL P/ VIGAS	116546,36
CONCRETO FCK 35 MPA	263186,32
BARRA DE ACO CA-50	413684,81
ACO PARA CONCRETO PROTENDIDO	181197,58
AP.ANC.P/CABOS PROTEN.ATIV.12FIOS-12,7MM	43464,21
LANÇAMENTO DE VIGAS COM TRELIÇA. ATÉ 120TF	375983,81
<b>TOTAL</b>	<b>1517767,96</b>

#### MESO E INFRAESTRUTURA

1453629,47

TOTAL PARA A OBRA: 2971397,43

**Figura 9 - Obra 422 para alternativa em vigas pré-moldadas – Resumo dos Custos.**



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21,22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

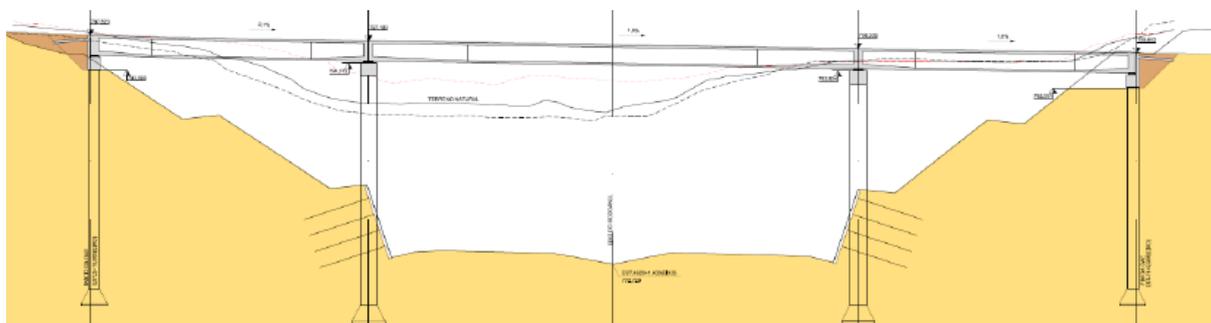
Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## Alternativa em vigas caixão

A partir da premissa de escavação posterior, tornou-se interessante a alternativa em viga contínua com seção caixão moldada no local, permitindo eliminar o apoio do canteiro central, que possui altura livre acima de 20 m. Para as fundações adotou-se tubulões  $\Phi$  160 cm. Para fins de quantitativos, foi efetuado um processamento preliminar das estruturas no software CSi Bridge. Seguem os detalhes principais:



**Figura 10 - Obra 422 para alternativa em vigas caixão – Perfil Longitudinal.**

### ALTERNATIVA EM VIGAS CAIXÃO

SUPERESTRUTURA		
FORMA PLANA P/CONC.PROTEND.OU APARENTE		205161,77
FORMAS METALICAS ESPECIAL P/ VIGAS		116546,36
CONCRETO FCK 35 MPA		325870,68
BARRA DE ACO CA-50		519248,93
ACO PARA CONCRETO PROTENDIDO		256960,41
AP.ANC.P/CABOS PROTEN.ATIV.12FIOS-12,7MM		30554,15
ANDAIME TUBULAR		117167,41
TOTAL		1484380,99
MESO E INFRAESTRUTURA		
		1025095,52
TOTAL PARA A OBRA: 2.509.476,51		

**Figura 11 - Obra 422 para alternativa em vigas caixão – Resumo dos Custos.**

O relatório indicou o tabuleiro com viga em seção caixão, como a alternativa mais atrativa, tanto do ponto de vista econômico, como do técnico, uma vez que elimina o apoio localizado no canteiro central, cuja altura livre é elevada e ainda, por possuir melhor estética.

Esta obra encontra-se em execução, tendo sido atendida a indicação da alternativa com tabuleiro em seção caixão, como a mais viável. Para possibilitar que o tabuleiro fosse apoiado diretamente sobre o solo, em toda a sua extensão, optou-se por executar um aterro de



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



nivelamento do terreno de base para as obras, evitando-se, desta maneira, cimbres localizados. Na figura 12, podem-se visualizar as fundações em execução sobre o aterro provisório.



**Figura 12 - Obra 422 para alternativa em vigas caixão – Execução.**

## Conclusão

Foram assim estudados, neste trabalho, os condicionantes que levam à decisão sobre implantar pontes com tabuleiros em vigas pré-moldadas ou em vigas caixão, quando executados sobre o solo. São muitas as particularidades que pesam na decisão, em especial, se considerarmos quem é o interessado no resultado do estudo, contratante ou construtor. Se for o construtor, uma vez contratado a custo fixo e com liberdade sobre o projeto, as possibilidades de execução a serem investigadas são inúmeras, quase inesgotáveis. Por outro lado, se o interessado for o contratante, a preços unitários medidos em obra fornecidos em tabela da licitação, o equacionamento do problema se simplifica sobremaneira, já que várias questões de lógica de execução passam a não ser consideradas – os valores dos unitários são considerados constantes e imutáveis para qualquer condição de execução, podendo levar a obra a um resultado de competitividade diferente ao que se obteria por uma análise de custos. Verifica-se neste trabalho, em primeira instância, que se executada convencionalmente como elevada, a alternativa em vigas caixão seria bem menos competitiva que a de vigas pré-moldadas, se considerados os custos com o cimbramento, evidenciando-se este fato nos três estudos apresentados. Se executada sobre o solo, há quase que uma equiparação nos custos das duas alternativas, quando de concepção semelhantes, pesando sobre a decisão, fatores



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de  
maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

como: prazos da obra, facilidades de lançamento de vigas e mesmo, disponibilidade para canteiros de pré-fabricação. Há uma tendência das obras em vigas caixão com vãos menores se tornarem mais competitivas, tanto sob o aspecto econômico, como pelas facilidades de execução que apresentam, por dispensarem a mobilização de equipamentos pesados.

De forma geral, para as obras com tabuleiros em vigas caixão, vale-se da maior facilidade construtiva para implantação da obra e versatilidade na sua implantação, ao permitir o proporcionamento dos vãos na conveniência técnica ou econômica da obra, como exemplo, a possibilidade de se trabalhar com vãos maiores que 40,0 m, que é uma limitação para a alternativa em vigas pré-fabricadas, como apresentado no terceiro estudo deste trabalho.

## Referências

- CONSÓRCIO PLANSERVI / TYPESA / ENGECORPS. RT-15.14.471-C01/001, Estudo de Alternativa Seção Caixão x Pré-moldado - 2x40m, Rodoanel Mário Covas Trecho Norte. Dersa, São Paulo, 05/09/2013.
- CONSÓRCIO PLANSERVI / TYPESA / ENGECORPS. RT-15.15.507-C01/001, Estudo de Alternativa Seção Caixão x Pré-moldado - 2x30m, Rodoanel Mário Covas Trecho Norte. Dersa, São Paulo, 29/08/2013.
- CONSÓRCIO PLANSERVI / TYPESA / ENGECORPS. RT-15.14.422-C01/001, Relatório Técnico – OAE 422, Rodoanel Mário Covas Trecho Norte. Dersa, São Paulo, 07/05/2013.