



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:



Restrições Encontradas na Concepção e Lançamento de Projeto de Viadutos Urbanos

Marcus Alexandre Noronha de Brito¹, Bruno Emidio Sobrinho², Ramon Saleno Yure Costa Silva³

^{1,2} Dinamiza Consultoria e Engenharia LTDA / Departamento de Estruturas / contatos@dinamiza.eng.br ; marcus@dinamiza.eng.br ; brunno@dinamiza.eng.br ; salenoyure@hotmail.com

^{1,2,3} Universidade de Brasília – UnB / Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

¹ Instituto Federal de Brasília – IFB / Curso Técnico de Edificações

Resumo

A fase de concepção e lançamento de projeto de viadutos é uma etapa que necessita de uma ampla visão multidisciplinar para que sejam atendidas as características existentes locais, muitas vezes não tão bem definidas. Deve-se considerar o atendimento às modificações futuras, seja de volume, direcionamento, ou qualquer outra característica de tráfego. Este trabalho então mostra algumas das reais dificuldades encontradas na obtenção no atendimento harmônico das exigências urbanas frente às prescrições técnicas para que se possibilite a implantação de uma obra de arte especial em um ambiente urbano no qual não se tinha anteriormente a previsão desta necessidade.

Palavras-chave

Viadutos Urbanos; Concepção; Restrições.

Introdução

A concepção de viadutos urbanos se torna cada vez mais, elemento essencial para diminuição das interseções que criam verdadeiros gargalos nas cidades brasileiras, que nitidamente, a cada dia que passa, sofrem com os grandes problemas relacionados com o trânsito e o crescente aumento no número de veículos nas vias. Solucionar esse problema é hoje em dia, sem dúvida, um dos grandes desafios para a engenharia mundial. Isso se torna mais evidente, quando se analisam as capitais brasileiras. É neste intuito que será mostrado uma solução adotada na cidade de Teresina, no estado do Piauí – Brasil, com viadutos do tipo elevado duplo e rotatório, nos cruzamentos das avenidas João XXIII e Presidente Kennedy.

Estudos iniciais e problemas envolvidos

A elaboração de projetos executivos das obras de engenharia de viadutos visa à eliminação dos conflitos urbanos, para diminuição nos cruzamentos de ruas e avenidas, garantindo aos habitantes das cidades acessibilidade, mobilidade, segurança, conforto e rapidez nos seus deslocamentos.

Para isso, todos os estudos iniciais relacionados a esse assunto, devem considerar os volumes de tráfego, a execução das vias urbanas que cruzam o viaduto e os possíveis deslocamentos do tráfego urbano de uma via para outra, de modo a permitir o fechamento de determinados cruzamentos e, conseqüentemente, definir os locais e as características técnicas das obras a serem implantadas.



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:



Critérios de classificação necessários

Os critérios de classificação das vias onde serão construídos os viadutos são estabelecidos quando se projeta a geometria da via, o que significa uma composição de uma sucessão de trechos retos e curvos que comporão o eixo da estrada em planta e perfil. E ainda, a definição das seções transversais da estrada. Partindo da diretriz básica deverão ser estabelecidos:

- a) A definição dos trechos retos em planta, as tangentes;
- b) A definição das curvas horizontais de concordância (curvas em planta);
- c) A definição das curvas verticais de concordância (curvas em perfil);
- d) O estabelecimento das superelevações correspondentes aos trechos curvos horizontais;
- e) O estabelecimento das superlarguras correspondentes aos trechos curvos horizontais;
- f) A definição das curvas horizontais de transição (para as curvas em planta).

Baseado nessas diretrizes, os viadutos, então denominados A e B, localizados na Avenida João XXIII / Avenida Presidente Kennedy foram projetados para serem executados na hoje então denominada Praça São Cristóvão, na Rodovia PI – 112. A figura 1 seguinte mostra a localização e o cenário da área onde serão implantados os viadutos.



Figura 1 – Localização e cenário da via de implantação dos viadutos

Para estabelecer esses critérios de classificação, deve-se observar que o planejamento do sistema viário de uma cidade deve ser baseado na identificação e mensuração das necessidades e desejos de deslocamento de sua população. Independentemente das razões dos deslocamentos, os fluxos com que as vias concorrem para seu atendimento são normalmente adotados para definir sua função, em termos de importância.

A ilustração esquemática da rede viária urbana onde serão construídos os viadutos, classificada funcionalmente, é mostrada na figura 2, e as relações entre os níveis de mobilidade e acessibilidade proporcionados pelas diferentes categorias funcionais podem ser visualizadas na figura 3, ambas as figuras mostradas a seguir. A decisão de adotar essas categorias de classificação foi baseada nos sistemas e métodos de classificação usados no Brasil e em outros países, especialmente nos conceitos e diretrizes gerais contidas nas publicações:



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:



- Normas para a Classificação Funcional de Vias Urbanas – DNER – 1974;
- Sistema Viário Nacional na Modalidade Rodoviária – ABNT – 1976;
- Highway Functional Classification: Concepts, Criteria, and Procedures – Federal Highway Administration – 1989;*
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – AASHTO – 2004.*



Figura 2 – Hierarquia funcional das vias urbanas (à esquerda) e dos locais a serem construídos os viadutos A e B (à direita)

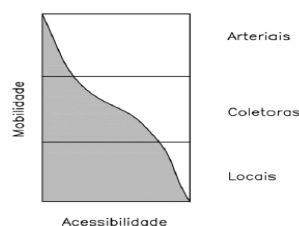


Figura 3 – Relação entre os níveis de acessibilidade e mobilidade para os diferentes tipos de vias urbanas

Por meio das características observadas das vias em que os viadutos serão construídos, classificou-se o sistema em que eles serão inseridos em Arterial Principal. Foi possível essa identificação pelo volume, natureza e composição de seu tráfego. Em uma pequena área urbana (população inferior a 50.000 habitantes), essas vias podem ser muito reduzidas em número e extensão, o que não foi o caso.

As estimativas do tráfego normal se deram através do histórico da via, que se caracteriza por problemas de tráfego intenso, devido aos conflitos nos cruzamentos de ruas e avenidas.

Considerou-se a estimativa do tráfego gerado, através da noção de origem-destino em rotas alternativas à via em estudo, como por exemplo, os acessos da Rua Francisco Prado, Rua Fenelon Castelo Branco, Rua Oscar Gil Castelo Branco, Avenida Pedro Almeida, e das vias principais Avenida João XXIII e Presidente Kennedy.

Com relação à capacidade e nível de serviço a serem estabelecidos por meio das observações feitas em relação ao cruzamento das Avenidas João XXIII e da Avenida Presidente Kennedy, que possui fluxo estável e que começou a ter velocidades de operação restringidas pelas condições de tráfego, tendo os condutores razoáveis condições de liberdade para escolher a velocidade e a faixa para circulação, definiu-se o nível de serviço B devido às características apresentadas das vias em estudo.



Definições geométricas estabelecidas

As definições geométricas estabelecidas devem levar em consideração a ampla visão multidisciplinar para atender as características existentes locais, que realmente, muitas vezes não são tão bem definidas. Nesse sentido essas definições têm como objetivo atender modificações futuras, seja de volume, direcionamento, ou qualquer outra característica de tráfego. Com isso, a configuração, gerada dos viadutos A e B após a definição da geometria gerada está representada na figura 4 seguinte.

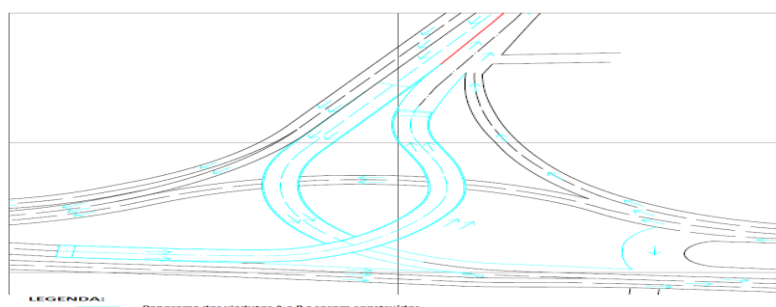


Figura 4 – Geometria gerada para implantação dos viadutos

Para essa definição de geometria e para que a mesma se encaixasse na área existente, no caso a Praça São Cristóvão, foi necessário alinhar alguns parâmetros. Dentre eles podem-se citar as curvas de concordância horizontal que são elementos utilizados para concordar os alinhamentos retos.

Para assegurar o conforto e a segurança nas curvas e reduzir os incômodos dessa variação brusca da aceleração centrífuga, intercala-se entre a tangente e a curva circular uma curva de transição, na qual o raio de curvatura passe gradativamente do valor infinito ao valor do raio da curva circular. Com as concordâncias horizontais geradas resulta uma extensão total do viaduto A de 230,00 m e no viaduto B uma extensão total de 188,00 m, gerando as configurações mostradas nas figuras 5 e 6 seguintes.

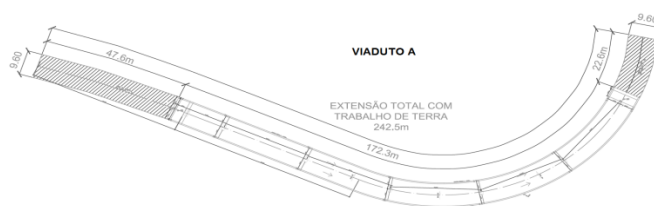


Figura 5 – Panorama do Viaduto A: Comprimento da Estrutura/Trabalho de Terra

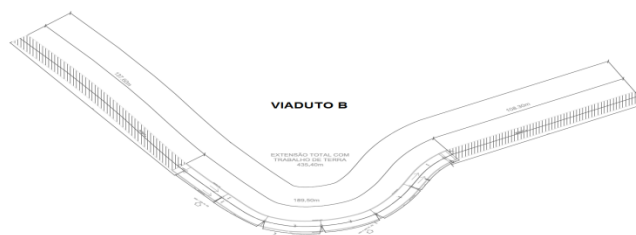


Figura 6 – Panorama do Viaduto B: Comprimento da Estrutura/Trabalho de Terra



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

Outro elemento necessário são as curvas de transição, projetadas de forma a permitir que ocorra uma passagem suave entre a condição de trecho em tangente e a de trecho em curva circular.

As normas do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) somente dispensam o uso de curvas de transição nas concordâncias horizontais com curvas circulares de raios superiores aos valores indicados na tabela 1, para as diferentes velocidades diretrizes ali apontadas.

Tabela 1 – Valores dos Raios até os quais podem ser dispensadas curvas de transição (Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais - DNER, 1999, p. 105)

V(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
R(m)	170	300	500	700	950	1200	1550	1900	2300	2800

Utilizou-se também o cálculo da Clotóide (Espiral de Cornu), por não ter sido possível fazer a concordância por meio de uma curva simples, para gerar uma concordância que trouxesse um traçado fluente e visualmente satisfatório. A configuração da clotóide criada está representada na figura 7 seguinte.

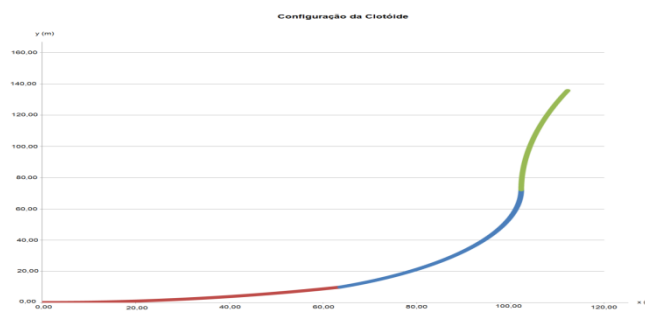


Figura 7 – Configuração da Clotóide calculada

O outro ponto a ser levado em consideração é o de superelevação, que é a declividade transversal da pista nos trechos em curva, introduzida com a finalidade de reduzir ou eliminar os efeitos das forças laterais sobre os passageiros e as cargas dos veículos em movimento.

A superelevação é medida pela inclinação transversal da pista em relação ao plano horizontal, sendo expressa em proporção (m/m) ou em porcentagem (%).

Utilizou-se a tabela 6 do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999, p.71) para a determinação da superelevação máxima a ser utilizada, bem como as velocidades diretrizes, e os raios mínimos de curva para o projeto dos viadutos A e B, conforme a tabela 2 seguinte.

Tabela 2 – Raios Mínimos de Curvas para Projetos (Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais - DNER, 1999, p. 105)

Superelevação máxima (e _{máx})	VELOCIDADE DIRETRIZ (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
4 %	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
6 %	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
8 %	25	50	80	125	170	230	290	375	475	595
10 %	25	45	75	115	155	210	265	345	435	540
12 %	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490



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

Considerou-se então, para a superelevação máxima de 12,0 %, a adoção da velocidade diretriz como de 50 km/h com um raio mínimo de 70,0 m.

Já para a superlargura, as normas, manuais ou recomendações de projeto geométrico estabelecem as larguras mínimas de faixas de trânsito a adotar para as diferentes classes de projeto. No caso dos viadutos A e B, adotou-se a largura das faixas com 4,40 m prescrevendo uma folga 0,90 m em relação à faixa de rolamento mínima de 3,50 m. As tabelas 3 e 4 seguintes mostram os parâmetros obtidos.

Tabela 3 – Parâmetros do Viaduto A

VIADUTO A					
PARÂMETROS FORNECIDOS ANTERIORMENTE		PARÂMETROS DO PROJETO		NÚMERO DE FAIXAS / LARGURAS	
e _{máx}	7%	e _{máx}	12%	2 faixas com 4,40m	
Raio	65,60m	Raio	70,00m		
Gabarito Vertical	5,50m	Gabarito Vertical	5,50m		
Velocidade	-	Velocidade	50km/h		

Tabela 4 – Parâmetros do Viaduto B

VIADUTO B					
PARÂMETROS FORNECIDOS ANTERIORMENTE		PARÂMETROS DO PROJETO		NÚMERO DE FAIXAS / LARGURAS	
e _{máx}	7%	e _{máx}	12%	2 faixas com 4,40m	
Raio	64,40m	Raio	70,00m		
Gabarito Vertical	5,50m	Gabarito Vertical	5,50m		
Velocidade	-	Velocidade	50km/h		

A superlargura deve ser distribuída acompanhando a distribuição da superelevação. O gabarito vertical para o viaduto A e B foi de 5,50 m considerando-se que as vias são arteriais e tem atuação como extensão do sistema rodoviário nacional. Os gabaritos verticais a serem considerados para as vias urbanas encontram-se resumidos na tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Gabarito Vertical Mínimo (Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999, p. 303).

Vias	Gabarito vertical (m)
Vias expressas	5,50
Vias arteriais que atuem como extensões do sistema rodoviário nacional	5,50
Outras vias arteriais	4,50

Por fim, faz-se a determinação da concordância vertical, sendo o projeto de uma estrada em perfil constituído por greides retos, concordados dois a dois por curvas verticais. Os greides retos são definidos pela sua declividade, que é a tangente do ângulo que fazem com a horizontal. Na prática, a declividade é expressa em porcentagem.

Nos greides ascendentes, os valores das rampas (i) são considerados positivos e nos greides descendentes, negativos. Para fazer essa convenção é necessário dar um sentido ao perfil, que é geralmente o mesmo do estaqueamento.

No caso da concepção de viadutos curvos, torna-se necessário encontrar a curva de concordância vertical parabólica. A figura 8 seguinte apresenta as variáveis envolvidas nessa determinação.



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

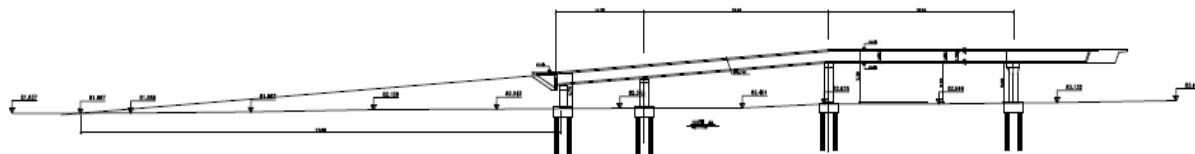


Figura 9 – Vista do Viaduto A (corte AA)

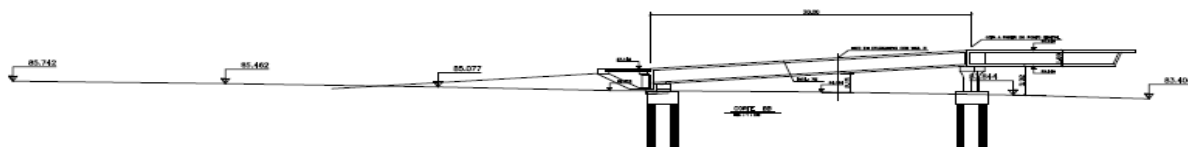


Figura 10 – Vista do Viaduto A (corte BB)

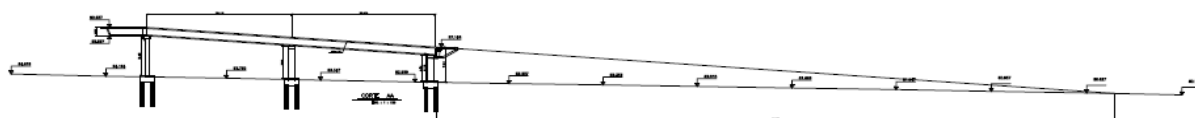


Figura 11 – Vista do Viaduto B (corte AA)

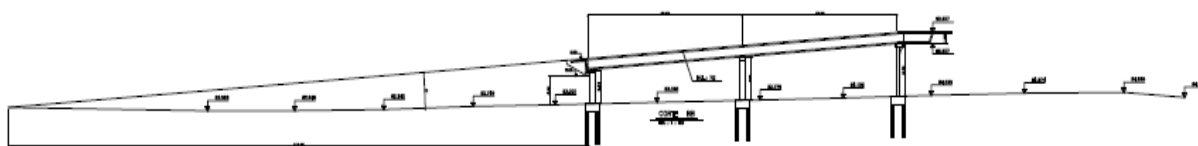


Figura 12 – Vista do Viaduto B (corte BB)

As equações e as concordâncias de curva do Viaduto A obtidas podem ser vistas na tabela 6 e na figura 13 seguinte.

Tabela 6 – Equação da Curva: Viaduto A

EIXOS		EQUAÇÃO
x	y	$ax^2+bx+c=0$
0	0,00	$y = -0,0004x^2 + 0,09x - 1E-14$
45	3,31	
90	5,13	
135	5,46	
180	4,31	
225	1,67	
245	0,00	

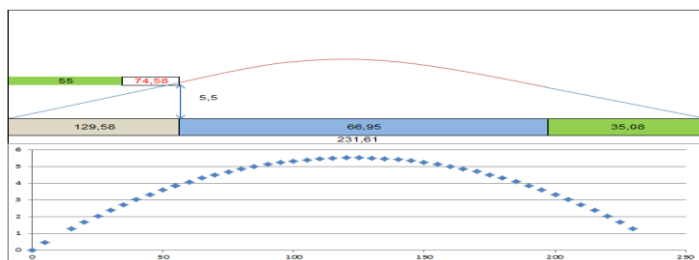


Figura 13 – Concordância Vertical: Viaduto A



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:



Já as equações e as concordâncias de curva do Viaduto B obtidas podem ser vistas na tabela 7 e na figura 14 seguinte.

Tabela 7 – Equação da Curva: Viaduto B

VIADUTO B		
EIXOS		EQUAÇÃO
x	y	$ax^2+bx+c=0$
0	0,00	$y = -0,0002x^2 + 0,1x - 6E-14$
85	6,91	
170	10,64	
255	11,19	
340	8,57	
425	2,76	
455	0,00	

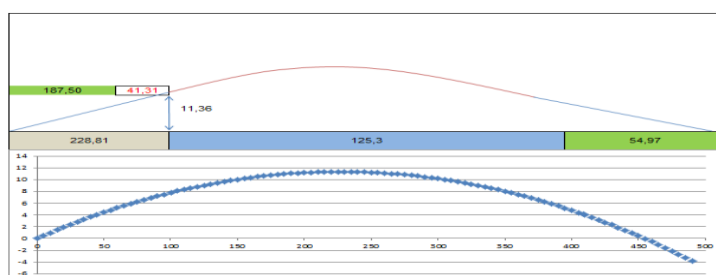


Figura 14 – Concordância Vertical: Viaduto B

Por fim, todas estas definições geométricas apresentadas mostram a quantidade de informações necessárias para atender às características normativas envolvidas, bem como às características locais das vias em estudo, pela necessidade de implantação desses viadutos.

Conclusões

Pode-se observar a ampla necessidade da visão multidisciplinar envolvida na concepção destes tipos de obras, principalmente nessa fase de projeto. Com isso, a implantação dos viadutos A e B, consideram mais uma vez, a melhora no fluxo de tráfego na rotatória existente entre a Avenida João XXIII e a Avenida Presidente Kennedy, duas vias urbanas de grande circulação veicular. Sendo assim, implanta-se um conjunto de dois viadutos que se cruzam em diferentes níveis, permitindo maior segurança e atendimento ao fluxo viário existente, como mostra a figura 15 seguinte.

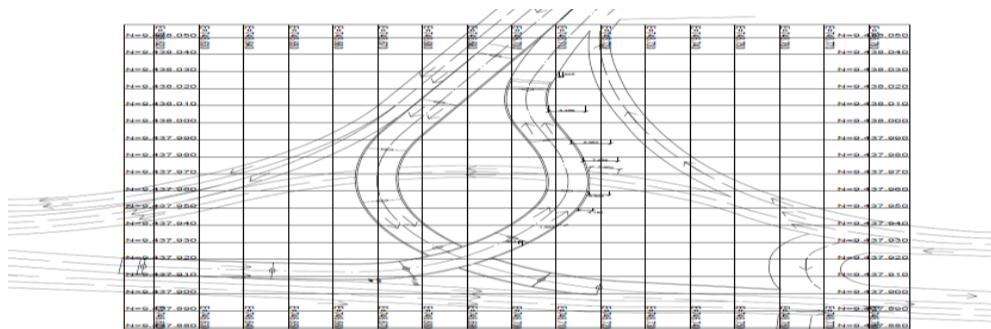


Figura 15 – Panorama dos Cruzamentos entre os Viadutos A e B e as vias de acesso laterais



A concepção em tabuleiro celular foi adotada por se tratar de uma obra de arte especial implantada em um centro urbano, levando assim à concepção de uma estética agradável e limpa da estrutura, eliminando a visão inferior de sistemas com inúmeras vigas longarinas sustentando um tabuleiro. A seção transversal dos viadutos, que acomoda as três faixas de rolamento rodoviário com larguras de 3,50 metros, possui 11,40 metros de largura total e é estruturada por meio de tabuleiros celulares (caixão perdido) apoiados no local com altura constante de 1,80 metros, como mostrado na figura 16 seguinte.



Figura 16 – Panorama do tabuleiro dos viadutos A e B em 3D

Por questões de restrições da faixa de domínio, o aterro dos acessos teve de ser desenvolvido com o sistema de terra armada, ou seja, com placas cimentíceas, tipo escamas, que eliminam a ocupação do espaço com as saias dos aterros, o que interferiria imensamente nas vias marginais, além de que a contenção desses aterros por terra armada traz uma aparência mais urbana ao local.

Cada apoio intermediário dos viadutos A e B é composto por um pilar hexagonal maciço, com dimensões de 1,30 metros na longitudinal e 2,50 metros na transversal, coroado em seu topo por um capitel também em concreto armado, como visto na figura 17 a seguir.

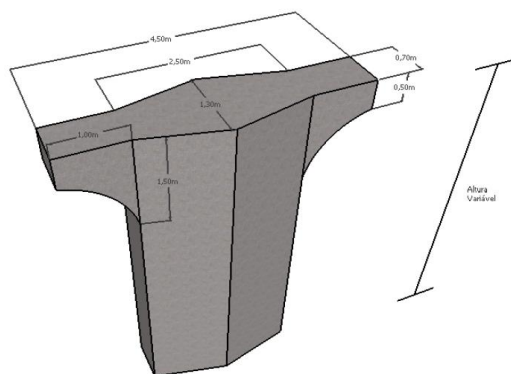


Figura 17 – Panorama dos pilares dos viadutos A e B em 3D

As rampas de acesso foram concebidas numa inclinação constante, tanto na região de acessos em aterros em terra armada, quanto na parte estrutural com inclinações únicas de 6,0 %, a fim de garantir conforto e segurança viária para qualquer tipo de veículo que sobre ele transite.

O viaduto A, possui 47,60 metros em acesso esquerdo e 22,60 metros em acesso direito, ambos em terra armada. Já o viaduto B possui 137,60 metros em acesso esquerdo e 108,30 metros em acesso direito. A extensão do viaduto A de 172,30 metros e a do viaduto B de 189,50 metros foram obtidas a partir das características de classificação da categoria da via, assim como pela necessidade de se obter a concordância das curvas necessárias no objetivo de se atender ao conforto e segurança viária. Tais composições e concordâncias podem ser observadas na figura 18 seguinte.



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:

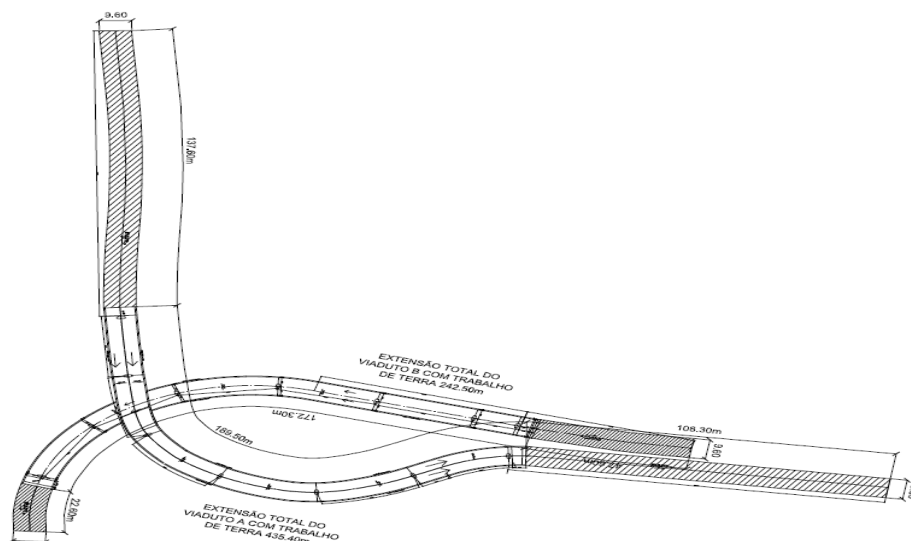


Figura 18 – Extensões estruturais e de aterro dos viadutos A e B em planta

Em resumo, os viadutos foram concebidos em face às dificuldades encontradas na obtenção do atendimento harmônico às exigências urbanas frente às prescrições técnicas, possibilitando a implantação dessa obra de arte especial neste ambiente urbano no qual não se tinha anteriormente a previsão desta necessidade, mas que foi viabilizado pelos estudos realizados, e possivelmente sanando os reais conflitos de trânsito existentes.

Referências

- CARVALHO, M. Pacheco - Curso de Estradas. 3ª ed. Rio de Janeiro: Científica, 1966. Vol. 1.
- COSTA, P. S.; FIGUEIREDO, Wellington C. Estradas – Estudos e Projetos. 2ª ed. Salvador, BA: UFBA, 2001.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. Classificação funcional do sistema rodoviário do Brasil. [Rio de Janeiro]: [s.n.], 1974.
- FONTES, Luiz Carlos A. de. Engenharia de estradas - projeto geométrico. Salvador, BA: UFBA.
- INSTRUÇÕES PARA O PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS RURAIS. Rio de Janeiro: [s.n.], 1979.
- LEE, SHU HAN. Introdução ao projeto geométrico de rodovias / Shu Han Lee. 2ª ed. ver. e ampl. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.
- MANUAL DE PROJETO DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1974.
- MANUAL DE PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS RURAIS. Rio de Janeiro: Copiarte, 1999.
- MANUAL DE PROJETO GEOMÉTRICO DE TRAVESSIAS URBANAS. Rio de Janeiro, 2010. 392p. (IPR. Publ., 740).
- MANUAL DE SERVIÇOS DE CONSULTORIA PARA ESTUDOS E PROJETOS RODOVIÁRIOS. 2 vol. Rio de Janeiro: Schulze, 1978.
- NORMAS PARA O PROJETO DE ESTRADAS DE RODAGEM. Rio de Janeiro: [s.n.], 1975.
- PAULA, Haroldo Gontijo Características Geométricas das Estradas. Belo Horizonte, MG: Engenharia, 1970.
- PONTES FILHO, Glauco Estrada de Rodagem – Projeto Geométrico. São Carlos, SP: GP Engenharia Bidim, 1998.
- SOUZA, José Otávio. Estradas de Rodagem. São Paulo: Nobel, 1981.