

Soluções utilizadas para o reforço de fundações de pontes rodoviárias no Brasil

José Afonso Pereira Vitório

Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia

Rui Manuel de Menezes e Carneiro de Barros

Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

RESUMO: Reforçar as fundações de uma ponte existente significa uma atividade bastante complexa, pelo fato de envolver uma série de incertezas quanto à real capacidade de carga de tais estruturas, muitas vezes dimensionadas há várias décadas, com a utilização de normas já ultrapassadas, e também pelo fato de terem sido projetadas para suportar carregamentos atualmente defasados. A tais problemas ainda devem ser acrescentados o desconhecimento sobre o projeto original e as dificuldades para a realização de inspeções e ensaios de resistência de materiais enterrados e/ou submersos.

Neste artigo são apresentadas quatro soluções adotadas em projetos de reforço de fundações de pontes e viadutos cujas capacidades de carga necessitaram ser ampliadas por diversos motivos, como o alargamento do tabuleiro original, a adequação às cargas móveis exigidas pelas normas atuais e a erosões nos leitos dos rios. Também houve casos de obras novas que necessitaram ser reforçadas ainda na fase de construção por causa da não conformidade da resistência à compressão do concreto utilizado nas fundações.

Palavras chaves: fundações, reforço, pontes, viadutos.

1 INTRODUÇÃO

Não há qualquer exagero em afirmar que as fundações significam o que existe de mais importante para a garantia da segurança de uma edificação.

Por se tratarem de elementos estruturais que trabalham enterrados e/ou submersos, na maioria das vezes inacessíveis à vistorias, as fundações apresentam uma série de fatores dificultadores para a identificação de problemas que muitas vezes só são detectados quando já estão repercutindo na estrutura como um todo.

No caso das pontes e viadutos, as fundações se revestem de uma importância especial pela própria singularidade de tais obras que estão expostas a condições ambientais geralmente adversas, são submetidas a condições de uso para as quais não foram projetadas e são carentes de manutenções ao longo da vida útil.

Diversos fatores contribuem para o aparecimento de problemas relacionados às fundações das Obras de Arte Especiais: erosões e deslocamentos causados por recalques diferenciais; submissão da obra a carregamentos excessivos para os quais não foi projetada (como os dos veículos transportadores de equipamentos especiais); alargamento do tabuleiro para a adição de mais pistas de rolamento; deficiências de projeto; falhas construtivas; utilização de taxas de trabalho inadequadas para o solo e,

principalmente, a ausência de manutenções ao longo do tempo, sendo este fator um problema crônico cujas consequências significam riscos à segurança dos usuários e prejuízos ao setor produtivo brasileiro que depende bastante do transporte rodoviário.

2 CAUSAS DOS REFORÇOS DE FUNDAÇÕES APRESENTADOS NESTE ARTIGO

Neste artigo são apresentados as causas e soluções adotadas em quatro projetos de reforço de fundações de pontes e viadutos existentes nas rodovias brasileiras.

Os principais problemas que causaram a necessidade de tais reforços foram a ocorrência de erosões nos leitos dos rios transpostos pelas pontes e o alargamento do tabuleiro de pontes antigas. Também é mostrado um caso de fundação de viaduto que necessitou ser reforçada ainda na fase construtiva por causa da não conformidade da resistência à compressão do concreto utilizado.

A seguir estão relacionados os tipos de reforço e suas respectivas causas.

2.1 Reforços causados por problemas relacionados a erosões e desvios no leito do rio

Sabe-se que um dos fatores que mais influenciam o aparecimento de graves problemas em fundações de pontes é a erosão (ou solapamento) ao longo tempo, sendo este fenômeno responsável por significativa quantidade de acidentes com tais tipos de obras em todo o mundo.

Outro tipo de fenômeno com grande poder de devastação sobre as pontes é a ocorrência de cheias nos rios, por causa da rápida elevação do nível da água, associada a grandes descargas e velocidades. A intensidade da força de arrasto aumenta o poder erosivo do leito do rio, descalçando as fundações e os aterros das cabeceiras. A grande pressão dinâmica da água, que atua transversalmente sobre os pilares e encontros pode causar a ruptura da ponte.

A seguir são apresentadas duas situações nas quais foram realizadas intervenções para execução de reforço de fundações de Obras de Arte Especiais, por causa de tais fenômenos.

O primeiro caso refere-se a uma ponte localizada sobre o riacho Ingazeiro na PE-057 em Pernambuco que teve as fundações solapadas após a ocorrência de uma cheia em 2005, conforme mostram as figuras 1 e 2.



Figura 1 - Vista geral da ponte e da erosão causada pela cheia nas fundações dos pilares na calha do riacho Ingazeiro.



Figura 2 - Fuga de material sob as fundações, causando risco de colapso da ponte.

Considerando que a situação requeria a adoção de providências imediatas para realização do reforço de fundações e evitar a ruptura total da ponte, foi providenciado

o escoramento do tabuleiro, de modo a reduzir substancialmente as cargas nos pilares, enquanto eram realizadas as sondagens geotécnicas e elaborado o projeto de reforço.

Com base no resultado das sondagens foi adotado para as fundações dos pilares o reforço com estacas raiz $\phi 310\text{mm}$ e comprimento médio de 12m, sendo 4 estacas por pilar, conforme detalhamento na figura 3. A figura 4 mostra o reforço de fundação dos encontros. Nas figuras 5 e 6 estão ilustradas a execução dos reforços das fundações e dos pilares.

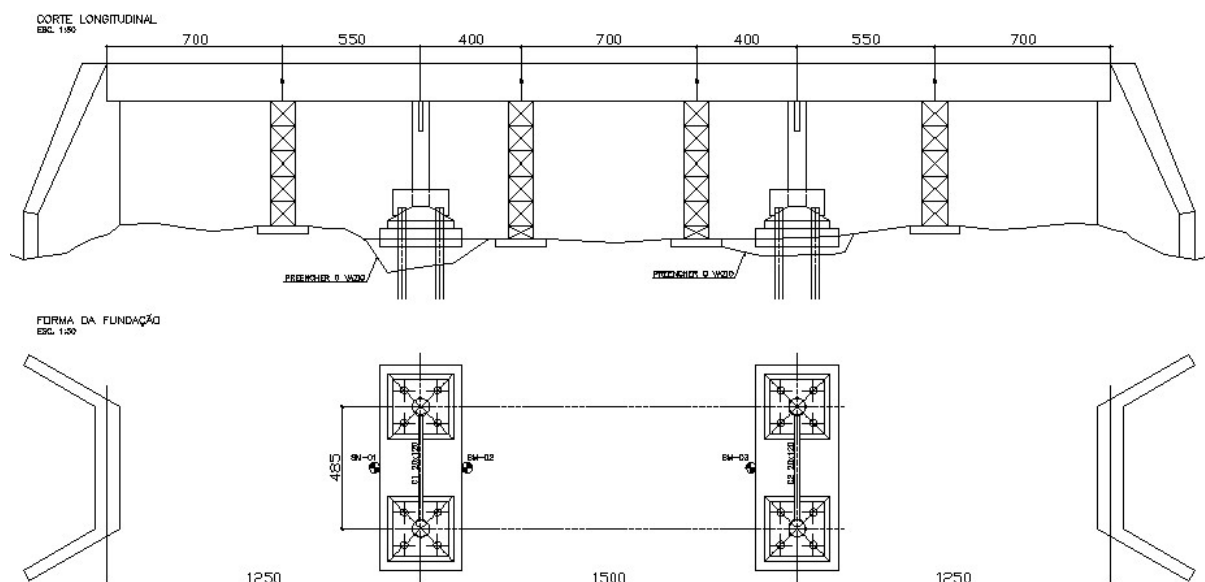


Figura 3 - Esquema do reforço das fundações dos pilares.

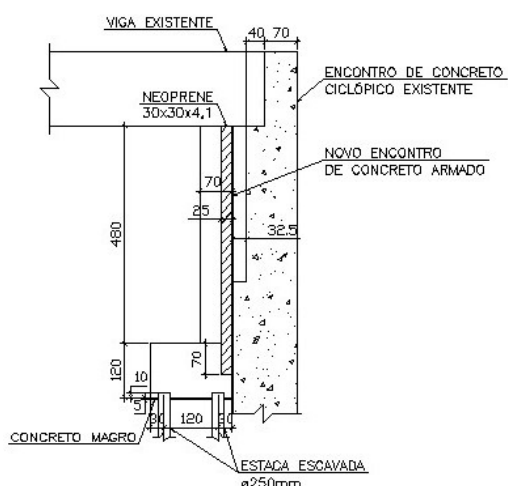


Figura 4 - Reforço da fundação dos encontros.



Figura 5 - Furos nas sapatas para a cravação das estacas.



Figura 6 - Reforço dos pilares e execução das estacas.

No segundo caso, é abordado o problema causado pela erosão nas fundações de uma ponte com 81m de extensão na BR-101/BA devido à modificações no perfil do rio ao longo dos anos, com rebaixamento do leito e a perda do confinamento das estacas que ficaram expostas e com a capacidade de carga reduzida, conforme mostram as figuras 7 e 8.



Figura 7 - Estacas expostas e desconfinadas por causa do rebaixamento do leito do rio.

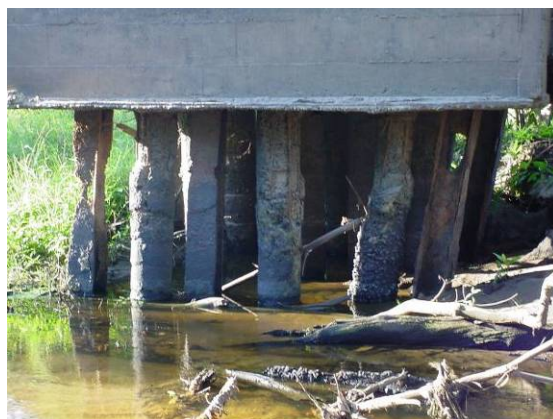


Figura 8 - Detalhe da deterioração e perda de seção transversal das estacas.

Considerando que o estaqueamento existente não mais apresentava condições de integridade estrutural e, nem ao menos, condições para a realização de uma análise mais profunda sobre as suas capacidades de cargas estrutural e geotécnica, optou-se pela criação de um novo estaqueamento capaz de absorver totalmente os esforços atuantes na estrutura. Com base no resultado do dimensionamento e das sondagens realizadas, foram adotadas estacas raiz $\phi 410\text{mm}$, (sendo 8 estacas para cada pilar), que foram solidarizadas ao bloco original por meio do encamisamento com um novo bloco. A solidarização entre os dois blocos foi feita com a aplicação de protensão com barras Dywidag $\phi 32\text{mm}$, de modo a garantir que o conjunto trabalhasse como um bloco monolítico para efeito da transmissão das cargas dos pilares para as novas estacas. As figuras 9, 10 e 11 mostram o envolvimento dos blocos originais pelos novos blocos, a configuração do novo estaqueamento e o posicionamento das barras de protensão.

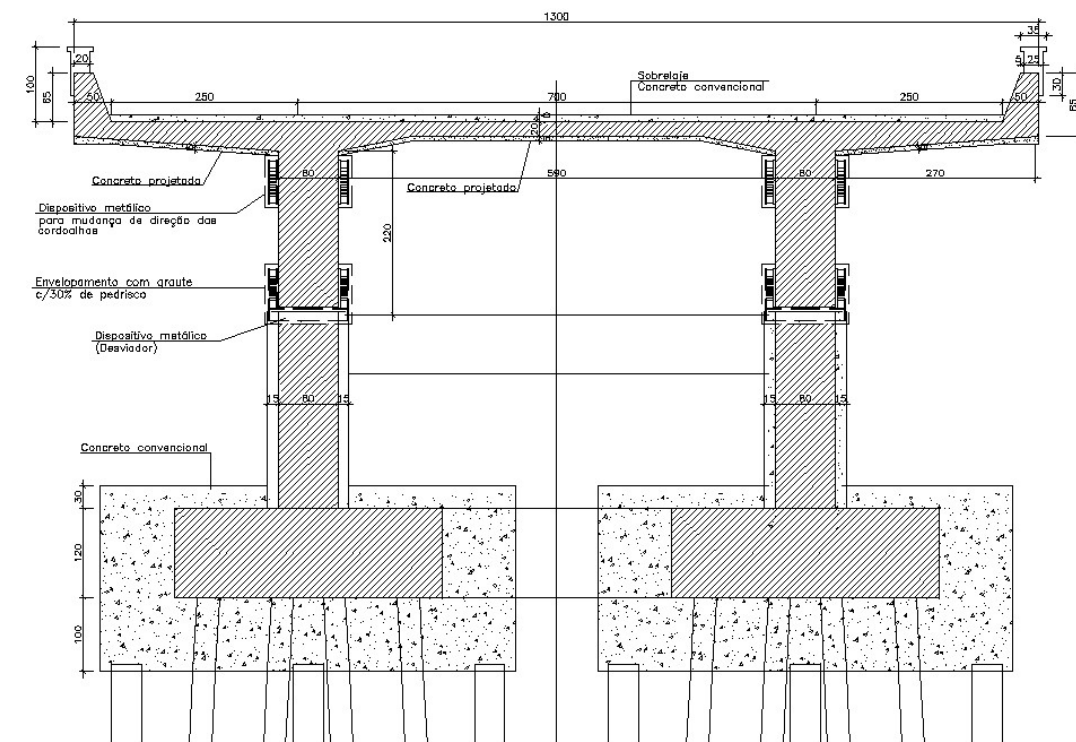


Figura 9 - Seção transversal da ponte cujas fundações foram reforçadas com a adição de novas estacas e utilização de protensão nos blocos.

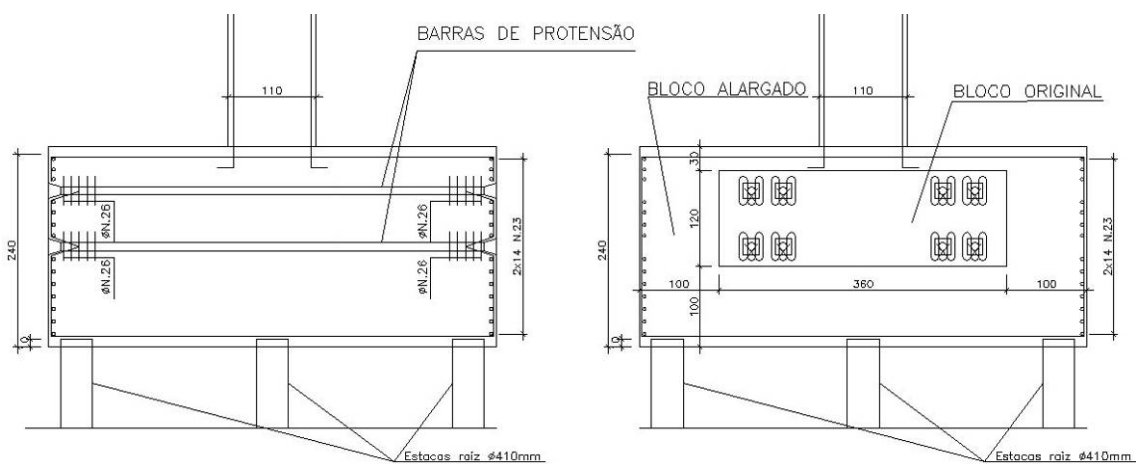


Figura 10 - Detalhes do envolvimento do bloco original pelo novo bloco, e das armaduras de protensão.

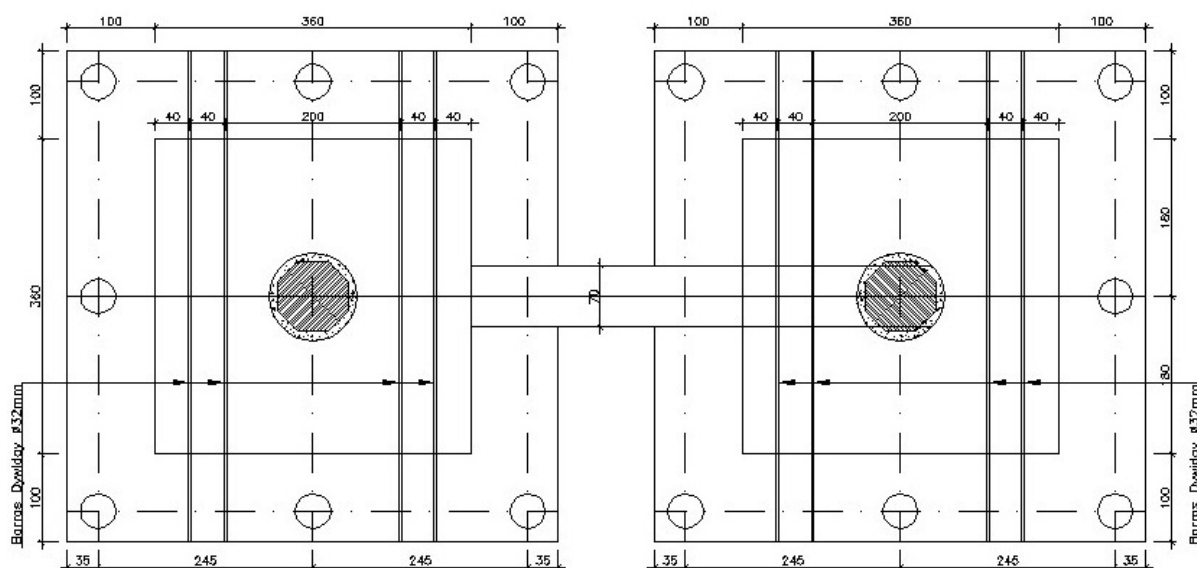


Figura 11 - Configuração horizontal do reforço do estaqueamento.

2.2 Reforço causado pelo alargamento do tabuleiro

Quase sempre que o tabuleiro de uma ponte existente necessita ser alargado e reforçado para atender às atuais exigências do tráfego de veículos nas rodovias, torna-se também necessário reforçar as fundações.

Na maioria das situações de alargamento das pontes típicas brasileiras a melhor alternativa consiste em projetar fundações adicionais em cada lado da obra, sem que haja necessidade de intervenções nas fundações existentes.

Isso evidentemente depende da configuração geométrica do alargamento e de uma apropriada modelagem com elementos finitos de tal modo que todo o acréscimo de cargas seja transmitido para as novas fundações.

O caso mostrado a seguir refere-se à ponte Paulo Guerra, com 153m de extensão, localizada em uma importante via da cidade do Recife que necessitou ser alargada para atender ao atual volume de tráfego.

O alargamento foi realizado em apenas um dos lados da ponte existente e não foi necessário reforçar as fundações antigas com base nos esforços obtidos após a modelagem do tabuleiro alargado.

A solução adotada para as fundações foi estacas de perfis metálicos Aço ASTM-572-G50, com 30m de comprimento, encamisadas por uma chapa de aço. O novo tabuleiro foi executado sobre uma treliça metálica apoiada nos novos blocos de fundação.

Nas figuras 12 a 15 estão ilustrados alguns aspectos das fundações e do alargamento.

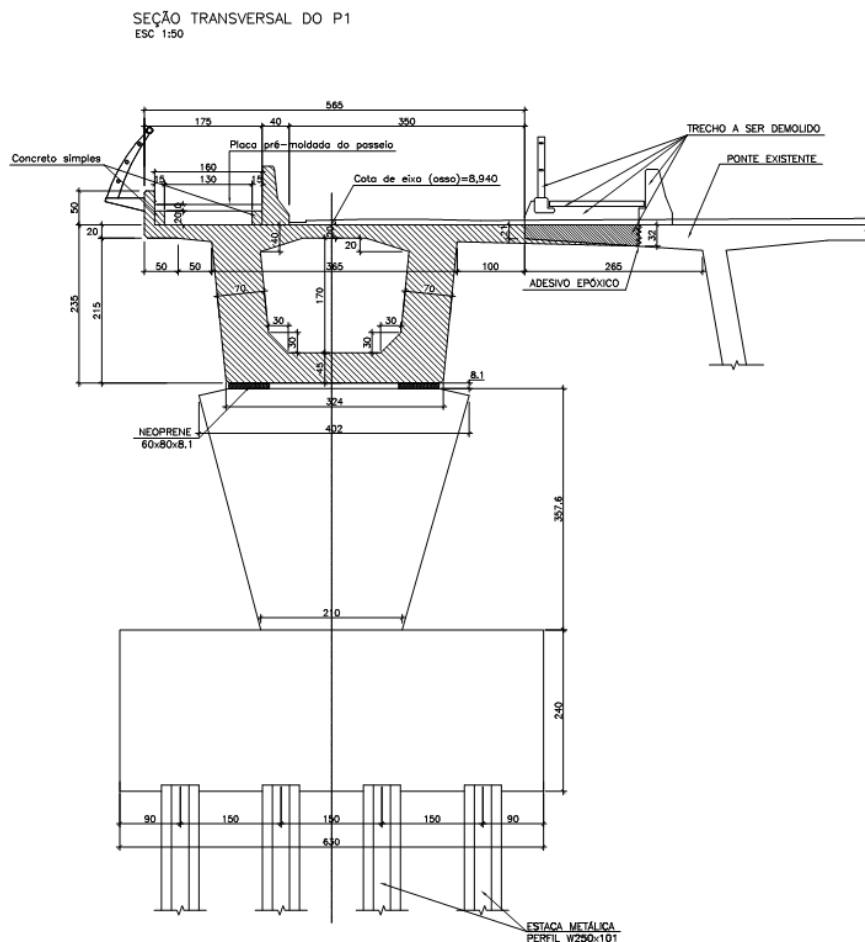


Figura 12 – Seção transversal do alargamento do tabuleiro, incluindo as fundações adicionadas ao apoio 1.

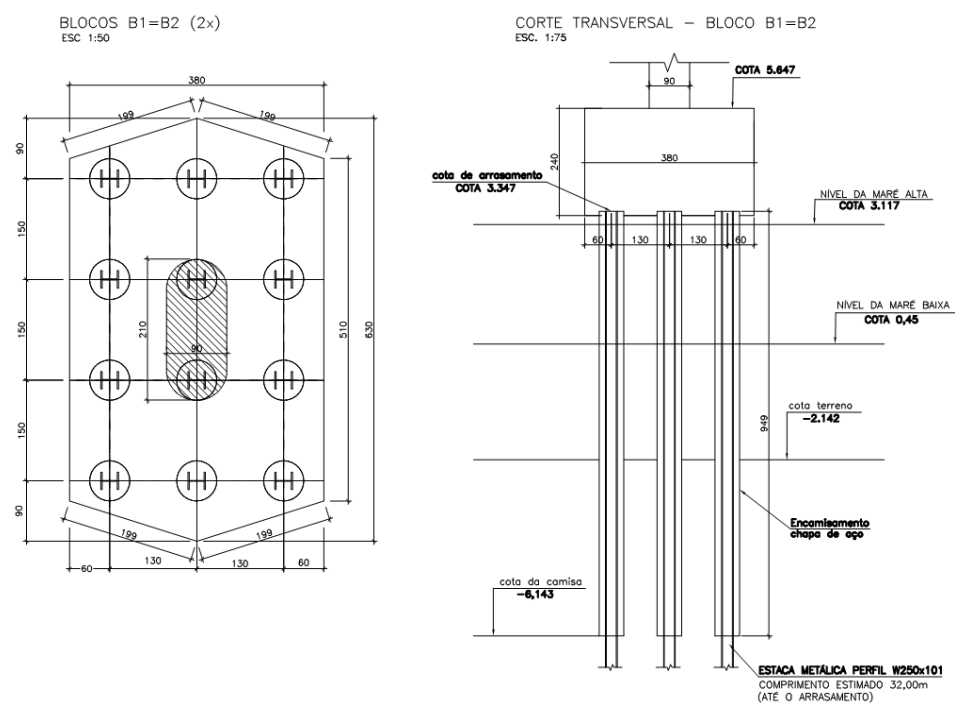


Figura 13 - Detalhe do estaqueamento adicionado.



Figura 14 - Apoio do escoramento treliçado nos novos blocos de estacas.



Figura 15 – Vista lateral da ponte alargada na fase dos acabamentos.

2.3 Reforço causado pela não conformidade da resistência à compressão do concreto utilizado em um bloco de fundação

De modo geral, quando a moldagem dos corpos de prova não garante a conformidade do concreto, a estrutura só poderá ser aceita após a realização de contraprova que venha a contradizer os resultados do controle inicial ou confirmar tais resultados, ficando a critério do projetista da estrutura definir se o concreto cuja resistência foi avaliada com um valor inferior possa ser empregado, ou haverá a necessidade de um reforço estrutural.

Ou seja, sempre que ocorre uma questão dessa natureza, tanto as normas como a literatura técnica que tratam do tema dividem o problema em duas etapas distintas:

A primeira etapa trata dos ensaios, o que significa passar de $f_{ck_{extraído}}$ a $f_{ck_{equivalente}}$, o que corresponde à inspeção da estrutura, extração de testemunhos, realização de esclerometria ou de outros ensaios que possam avaliar a resistência do concreto existente. Esta etapa é normalmente realizada por especialistas em tecnologia do concreto.

A segunda etapa corresponde à verificação da segurança estrutural, realizada pelo projetista da estrutura, na qual é alterado o coeficiente de minoração da resistência do concreto, ou o coeficiente global de segurança.

O caso de reforço de fundações apresentado a seguir, refere-se a um bloco de estacas do viaduto Capitão Temudo na cidade do Recife, cujo concreto apresentou após a moldagem dos corpos de prova colhidos durante a concretagem uma resistência característica inferior a que foi estipulada no projeto. A extração e ruptura de testemunhos confirmaram o valor insuficiente do f_{ck} e o bloco necessitou ser reforçado com concreto auto adensável e armadura de protensão horizontal. Esse tipo de reforço foi adotado por tratar-se de um bloco alto e rígido com ângulo de inclinação das bielas de compressão (ϕ) maior que 60° .

A figura 16 mostra aspectos da geometria do bloco original. Na figura 17 consta detalhe do reforço com cabos $4 \phi 12.7\text{mm}$, envoltos em bainha metálica chata. As figuras 18 e 19 ilustram aspectos da execução do reforço.

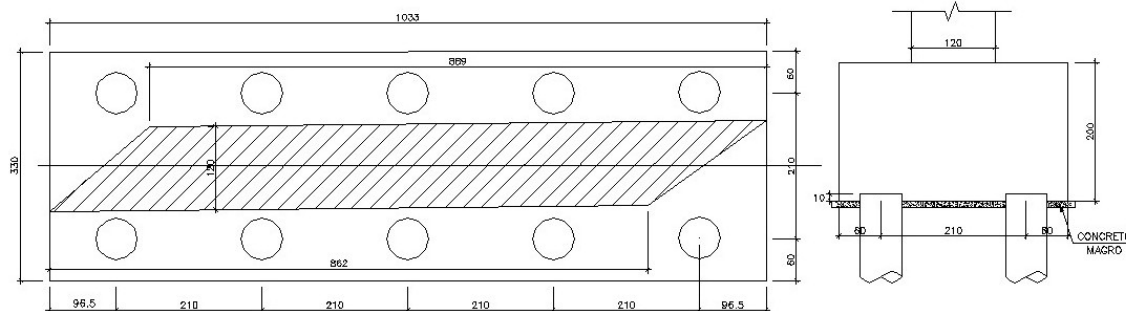


Figura 16 - Geometria original do Bloco B4 do Viaduto Capitão Temudo..

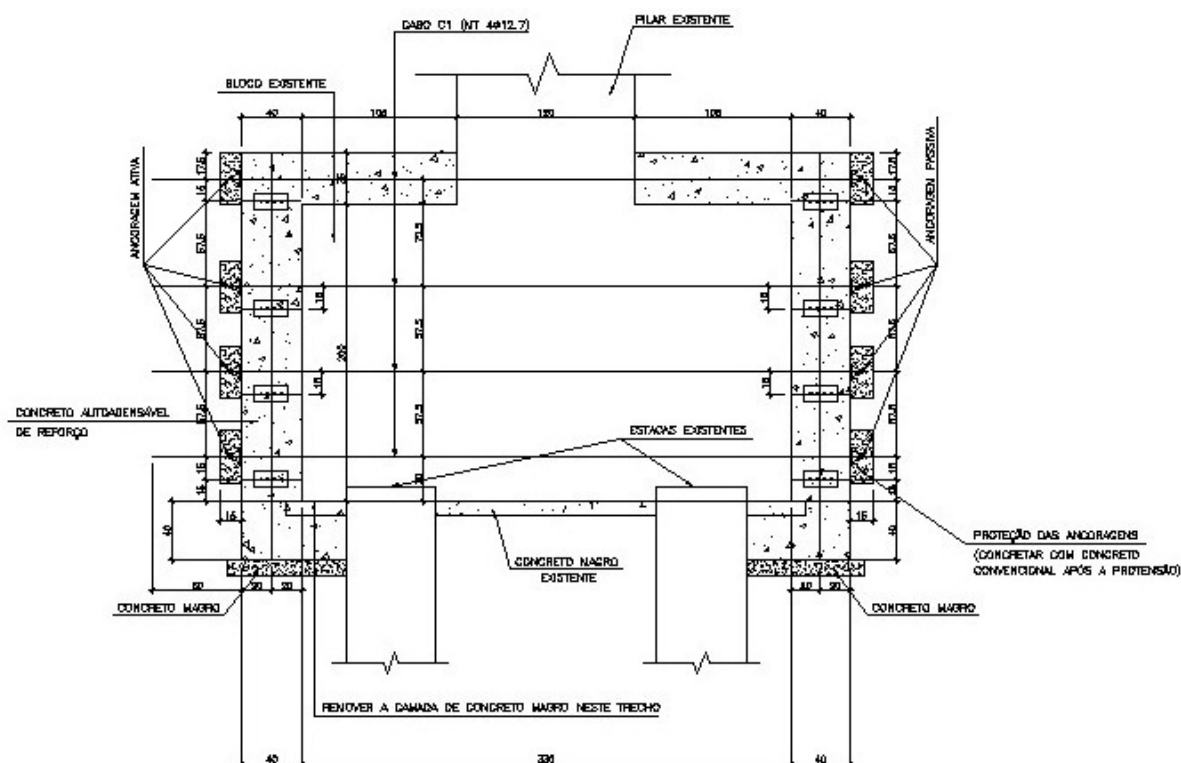


Figura 17 - Detalhe do reforço do bloco com concreto auto adensável e protensão com cabos horizontais.



Figura 18 - Colocação das armaduras ativas e passivas do reforço.



Figura 19 - Detalhe dos cabos de protensão.

3 CONCLUSÃO

Os casos de reforços de fundações apresentadas permitem tirar algumas conclusões sobre as condições de segurança estrutural das pontes que compõem as malhas viárias brasileiras, até porque não se constituem em situações isoladas e sim em uma realidade na qual fica evidente que os requisitos de estabilidade estrutural e de funcionalidade dessas obras podem ser comprometidos por diversos fatores, alguns deles relacionados neste artigo, que dependem basicamente de um modelo de gestão apropriado no qual estejam contempladas todas as questões relacionadas à boa qualidade da execução, fiscalização e manutenção das obras públicas e privadas.

São relacionados a seguir alguns fatores que têm influenciado a ocorrência de problemas nas fundações das pontes típicas das rodovias brasileiras.

- Estudos hidrológicos insuficientes;

- Estudos geotécnicos insuficientes;

- Fundações executadas de tal modo que as deixem vulneráveis aos efeitos da erosão;

- Ausência de estudos sobre as mudanças ocorridas ao longo do tempo nos leitos dos rios onde as pontes foram construídas;

- Locação inadequada da ponte;

- Baixa qualidade dos materiais empregados, em especial do concreto estrutural;

- Deficiências nos aterros de transição entre a ponte e a rodovia;

- Utilização de cargas móveis cujos valores estão acima dos que foram adotados no projeto;

- Ausência de inspeções e manutenções preventivas (e até corretivas) na estrutura da ponte e nos aterros de acesso.

4 REFERÊNCIAS

- Alonso, U.R. 1983. Exercícios de Fundações. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. Brasil
Cánovas, M.F. 1988. Patologia e Terapia do Concreto Armado. Editora Pini. São Paulo. Brasil
Vitório, J.A.P. 2014. Reforço de Fundações de Pontes. Seminário Pernambucano de Estruturas de Fundações. Recife. Brasil.