

## Reforço e Alargamento de Pontes Rodoviárias com a Utilização de Protensão Externa

José Afonso Pereira Vitório (1); Rui Carneiro de Barros (2)

(1) *Engenheiro Civil; professor convidado da disciplina "Reforço e Recuperação de Estruturas de Pontes e Viadutos" da pós-graduação da Escola Politécnica de Pernambuco; Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade do Porto/Portugal.*

email: [vitorioemelo@terra.com.br](mailto:vitorioemelo@terra.com.br)

(2) *Engenheiro Civil, Professor Doutor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto/Portugal.*

email: [rcb@fe.up.pt](mailto:rcb@fe.up.pt)

### RESUMO

A aplicação de protensão externa para reforço de estruturas danificadas, ou com a capacidade de carga reduzida por causas diversas, é feita há décadas, porém, percebe-se que existe uma lacuna no que se refere a disponibilidade de Literatura Técnica sobre o tema.

Este sistema de reforço é bastante apropriado para restabelecer as condições de estabilidade e funcionalidade de pontes antigas que encontram-se defasadas em relação aos carregamentos móveis e às plataformas atuais das rodovias brasileiras; por isso, necessitam ter as estruturas reforçadas e as seções transversais alargadas.

Mesmo existindo outros métodos de reforço e alargamento, o sistema de protensão externa (longitudinal ou transversal) destaca-se pela melhoria do comportamento estrutural da ponte em serviço, aumentando a capacidade de carga das vigas principais (longarinas), no caso da protensão longitudinal, e da laje do tabuleiro, no caso da protensão transversal. O efeito da protensão aumenta a rigidez da estrutura, diminui significativamente a fissuração e as deformações; dependendo do traçado dos cabos, também melhora a resistência ao cisalhamento.

Este sistema de reforço tem também, evidentemente, desvantagens que necessitam ser avaliadas antes da tomada de decisão sobre a sua utilização em determinadas obras. Por isso, o projetista estrutural necessita ter um perfeito conhecimento do desempenho da estrutura como um todo, ao optar pela sua utilização.

Neste sentido, este artigo se propõe a fazer uma análise conceitual, contextualizando a aplicação do método, de modo a contribuir para ampliar o conhecimento sobre o tema, considerando que significativa quantidade de pontes estão sendo alargadas e reforçadas, e existe uma carência de literatura especializada para ajudar os projetistas e construtores a aperfeiçoar os seus conhecimentos.

**Palavras-chave:** Pontes, protensão, reforço, concreto, estrutura.

## INTRODUÇÃO

Desde que o engenheiro francês Eugène Freyssinet patenteou em 1928 um sistema de protensão e conseguiu por meio de estudos, ensaios e observações, resolver os principais problemas na utilização do concreto protendido, que eram os efeitos da retração e da fluência do concreto, este sistema construtivo evoluiu de tal modo que hoje é adotado nas mais importantes obras civis do planeta.

As primeiras pontes em concreto protendido foram construídas na Alemanha em 1938, mas o seu grande desenvolvimento se deu após o término da 2ª Guerra Mundial, a partir da construção de cinco pontes projetadas por Freyssinet sobre o rio Marne na França.

O concreto protendido continua a ser um dos materiais mais empregados nas estruturas das pontes, inclusive no Brasil. A sua competitividade se deve a uma série de vantagens sobre o concreto armado convencional, sendo uma das principais a possibilidade de vencer vãos bem maiores com redução de altura das vigas e da quantidade necessária de concreto e aço, devido a utilização eficiente de materiais de alta resistência.

As vantagens do concreto protendido também se aplicam ao reforço de estruturas, em especial de pontes antigas que necessitam ter a capacidade de carga aumentada para suportar as solicitações de cargas móveis cujas intensidades são bem maiores das que foram utilizadas no projeto original.

Outro fator que tem motivado o reforço de pontes rodoviárias antigas no Brasil é a necessidade do aumento da largura do tabuleiro, para adequá-lo ao gabarito transversal atual das rodovias federais. O aumento da largura, associado ao aumento das cargas móveis, provoca um acréscimo de tal ordem nos esforços do tabuleiro que muitas vezes a viabilidade do reforço só é possível com a aplicação de protensão externa longitudinal nas vigas transversais e protensão transversal na laje. Na figura 1 está ilustrado um esquema da utilização de protensão externa não aderente para reforço de viga de ponte.

O reforço por meio da protensão também pode ser aplicado às fundações, como é o caso de situações em que existe o acréscimo de novas estacas ao estaqueamento original da ponte e torna-se necessário executar um bloco de coroamento que solidarize as novas estacas ao bloco existente. Neste caso, garante-se uma melhor eficiência na junção entre os dois blocos que passam a funcionar de forma monolítica, condição esta que seria difícil de se obter por outro método.

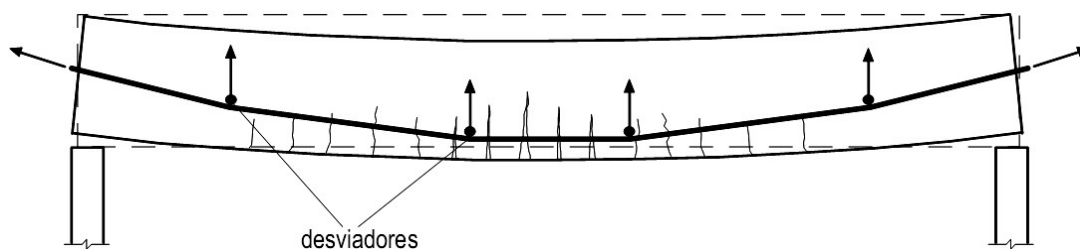


Figura 1 – Protensão externa sem aderência para reforço de vigas de pontes.

(Veríssimo, 1988)

---

## FUNDAMENTOS DO CONCRETO PROTENDIDO

### Conceito de protensão

Conceitualmente, o concreto protendido consiste em um sistema cujas armaduras são submetidas a um esforço prévio, denominado protensão, responsável pela criação de um estado de tensões capaz de melhorar a resistência e o comportamento da estrutura sob diversas condições de carregamento.

As principais vantagens do concreto protendido em relação ao concreto armado convencional são:

- ✓ Redução das quantidades de concreto e aço;
- ✓ Possibilidade de vencer vão bem maiores que o concreto armado, conseguindo-se para o mesmo vão redução significativa nas alturas das vigas;
- ✓ Significativa redução na incidência de fissuras;
- ✓ Redução das tensões principais de tração provocadas pelo esforço cortante;
- ✓ Durante a operação de protensão, os materiais são submetidos a tensões geralmente superiores à que poderão ocorrer durante a vida útil da estrutura, o que funciona como uma prova de carga.

Como os demais sistemas construtivos, o concreto protendido tem, também, algumas desvantagens, que são:

- ✓ Exigência de um controle de execução bem melhor do que o concreto armado convencional;
- ✓ Os aços de alta resistência utilizados exigem cuidados especiais de proteção contra a corrosão;
- ✓ As operações de protensão necessitam de equipamentos e pessoal especializados, condições que inviabilizam a utilização do concreto protendido em determinadas situações;
- ✓ De modo geral as obras de concreto protendido exigem maior atenção, controle permanente e manutenção superiores aos necessários para o concreto armado convencional.

### Perdas de protensão

O acionamento dos macacos, a liberação dos cabos e a transferência da força de protensão, entre outros fatores, originam uma série de efeitos que conduzem a uma diminuição da força de protensão. São as chamadas perdas de protensão, que são classificadas em perdas imediatas e perdas progressivas.

As perdas imediatas são classificadas em três tipos:

- ✓ Por atrito das cordoalhas nas bainhas;
- ✓ Por acomodações das cunhas de ancoragem;
- ✓ Por atrito no conjunto: ancoragem/macaco/bomba.

As perdas progressivas também são classificadas em três tipos:

- ✓ Por relaxação do aço de protensão;
- ✓ Por fluência do concreto;
- ✓ Por retração do concreto.

### **Níveis de protensão**

A protensão é classificada em três níveis: total, limitada e parcial.

A protensão total, ou completa, caracteriza-se por não ter tensões de tração no concreto para as combinações desfavoráveis das cargas em serviço.

Na protensão limitada existem tensões de compressão mais moderadas no concreto e admite-se tensões de tração limitadas.

Na protensão parcial adotam-se tensões de compressão ainda menos intensas do que na modalidade limitada, de modo que as tensões de tração no concreto para as combinações desfavoráveis das cargas são bem mais elevadas.

De modo geral, recomenda-se que para o projeto de pontes seja adotada a protensão limitada, pelo fato de possibilitar soluções mais econômicas.

### **APLICAÇÃO DA PROTENSÃO NOS REFORÇOS DE PONTES**

A utilização da protensão para o reforço de pontes danificadas, ou que necessitem ter a capacidade de carga ampliada, vem sendo utilizada no Brasil há algumas décadas. É possível afirmar que, de modo geral, a protensão melhora o desempenho estrutural das pontes antigas, aumenta a capacidade de carga das vigas principais (caso da protensão longitudinal) e da laje do tabuleiro (caso da protensão transversal). O efeito da protensão ainda aumenta a rigidez da estrutura, diminui significativamente a fissuração e melhora a resistência ao cisalhamento.

Outra das principais características e vantagens é poder ser aplicada em vigas e lajes carregadas e deformadas sem a necessidade de ter que descarregar estas peças, nem eliminar antecipadamente as deformações, pois a recuperação das condições iniciais se darão por meio da aplicação das forças de protensão nos cabos colocados externamente e a posteriori, ao longo das peças, e fixados por meio de dispositivos especiais denominados desviadores.

Como os demais sistemas construtivos, tem também as suas desvantagens, de modo que a sua utilização precisa ser muito bem avaliada pelo projetista, em especial quanto à grande dificuldade de execução em determinados tipos de obras.

Uma dificuldade a ser vencida na fase de projeto é a correta avaliação da força de protensão que deve ser aplicada para garantir o reforço da ponte, considerando que as obras antigas eram executadas com um concreto de resistência à compressão bastante inferior aos utilizados atualmente e que os limites das tensões de compressão no concreto precisam ser atendidos para não provocar a ruptura durante a operação de protensão, situação que se torna ainda mais delicada quando o concreto encontra-se muito deteriorado.

Outra dificuldade a ser superada é a maior vulnerabilidade à corrosão das cordoalhas externas, em especial nos locais de ancoragem, o que implica na necessidade de uma eficiente proteção, com especial atenção quando a ponte estiver localizada em um meio de forte agressividade ambiental. Ou seja, no caso de reforço e alargamento de pontes, a aplicação da protensão tem diversas peculiaridades que a diferenciam da protensão tradicional, utilizada nas novas estruturas; por isso, necessita ser melhor avaliada.

### **Métodos mais antigos de reforço com protensão longitudinal**

Os primeiros reforços de pontes com o emprego da protensão externa foram realizados entre as décadas de 60 e 70, com a utilização de cabos envolvidos em bainhas que tinham trechos rígidos dentro dos desviadores de concreto e trechos flexíveis na parte externa (no vazio). Tal solução foi bastante utilizada até o advento dos desviadores metálicos e apresentava muitas dificuldades construtivas, principalmente no que se refere à introdução da força de protensão na estrutura por meio da concretagem de grandes blocos de reforço nas extremidades (blocos de ancoragem), nos apoios (desviadores superiores) e no meio dos vãos das vigas (desviadores inferiores).

A foto 1 mostra o reforço da viga de uma ponte com a utilização do sistema acima descrito. Na figura 2 estão detalhados os modelos dos desviadores superiores e inferiores então utilizados.



Foto 1 – Reforço das vigas principais de uma ponte por meio de protensão externa com cabos embutidos em bainhas flexíveis. Observar os grandes blocos de concreto nas regiões dos apoios para garantir a passagem dos desviadores e resistir à grande concentração de tensões.

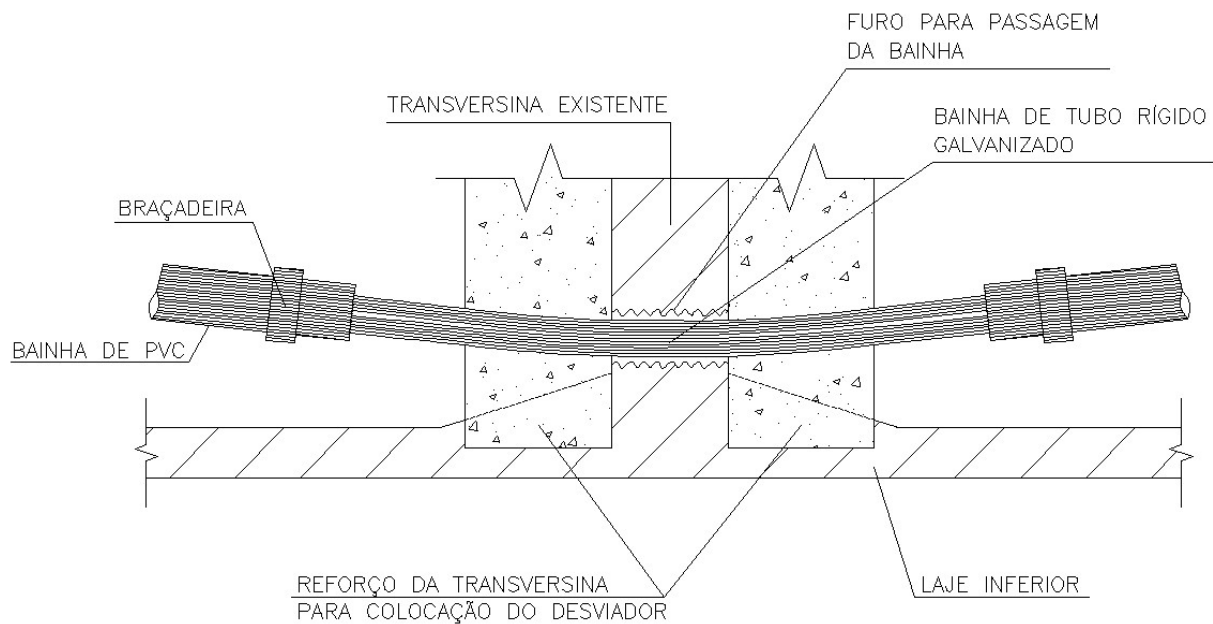


Figura 2-a - Desviador inferior

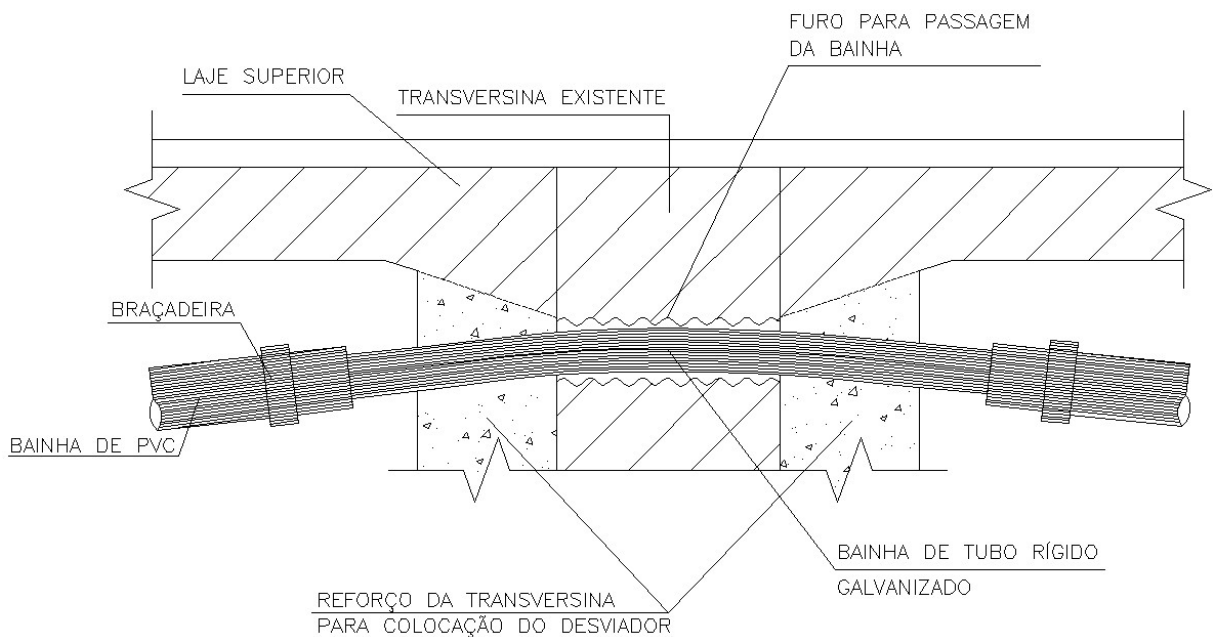


Figura 2-b - Desviador superior

Figura 2 – Modelo de desviadores dos cabos de protensão externa em tabuleiro de pontes, antes do advento dos desviadores metálicos.

### Método atualmente mais utilizado para o reforço com protensão longitudinal

A evolução dos processos construtivos muito contribuiu para a redução das dificuldades existentes no sistema de reforço descrito anteriormente.

Mesmo considerando que a aplicação da protensão externa em uma viga de ponte ainda continua sendo um processo com elevado grau de complexidade, vários

procedimentos foram simplificados, a partir da utilização dos aços de alta resistência na fabricação dos desviadores e da utilização de feixes de monocordoalhas em substituição aos cabos envoltos em bainhas flexíveis de PVC.

O próprio processo de dimensionamento da protensão de reforço também evoluiu com o advento dos softwares avançados, tornando-se mais eficaz no que se refere a uma aplicação mais realista das forças de protensão na estrutura a ser reforçada.

O sistema mais usual, atualmente empregado no reforço de pontes, em especial nas das rodovias federais, é o que utiliza monocordoalhas de aço para concreto protendido agrupadas em feixes rentes às faces laterais das vigas e fixadas à estrutura por meio de dispositivos de aço especial, fabricados para cada caso específico.

A figura 3 mostra a metade da seção longitudinal de uma ponte cujas duas vigas foram reforçadas por este sistema para suportar o acréscimo de carga devido ao alargamento do tabuleiro. Neste caso foi utilizado um feixe com 18 cordoalhas de 12.7mm de Aço CP-190RB de cada lado das vigas. A força de protensão aplicada em cada cordoalha foi de 135kN, totalizando uma força de protensão igual a 4.860kN por viga.

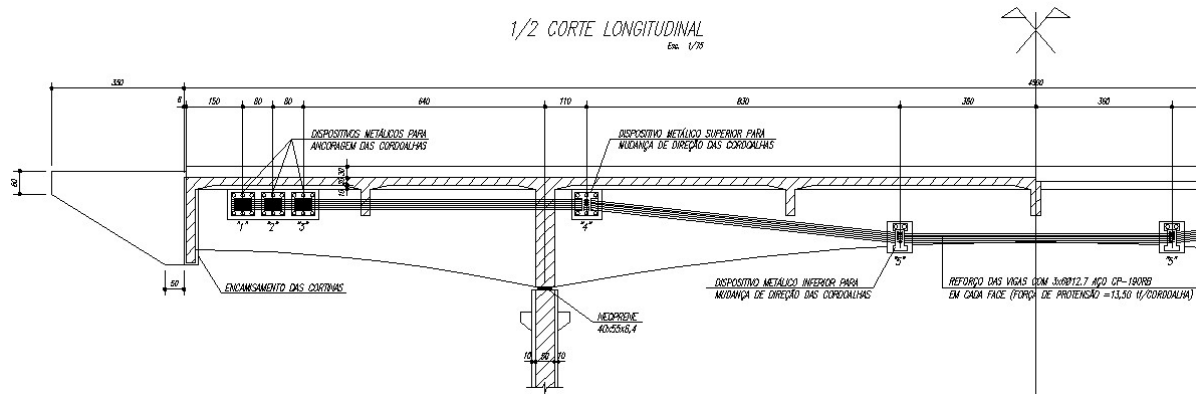


Figura 3 – Reforço das vigas de uma ponte com feixe de monocordoalhas fixadas por dispositivos metálicos nas ancoragens e nas mudanças de direção.

Este sistema de protensão apresenta as seguintes vantagens:

Diminui a quantidade de demolições de concreto que eram necessárias para a execução dos grandes blocos de ancoragem e dos desviadores. Agora, torna-se necessário apenas a execução de furos nas transversinas para a passagem das cordoalhas e furos laterais nas vigas para a introdução de barras Dywidag usadas para garantir a boa fixação dos desviadores metálicos;

Permite uma rápida e simples fixação das cordoalhas e dos dispositivos;

Não necessita de injeção de nata de cimento, pela inexistência de bainhas;

Diminui as perdas de protensão por atrito ao longo das cordoalhas;

Permite uma operação de protensão simples, com equipamentos (macacos) menores;

As cordoalhas, mesmo sendo externas, ficam protegidas da agressividade ambiental e do vandalismo por meio de uma cobertura (encamisamento) de concreto.

Nas fotos 2, 3, 4, 5 e 6 são mostrados alguns detalhes da fixação dos dispositivos metálicos no reforço de uma ponte rodoviária. Na foto 7 a operação de protensão já encontra-se encerrada e as cordoalhas e dispositivos devidamente protegidos com concreto.



Foto 2 – Dispositivos utilizados para a ancoragem das cordoalhas nas extremidades da viga, fixadas por meio de barras Dywidag.



Foto 3 – Detalhe de um desviador metálico na parte inferior da viga após a fixação.





Foto 4 – Desviadores metálicos das cordoalhas na parte superior da viga (nos apoios).



Foto 5 – Aplicação de protensão em cada cordoalha.



Foto 6 – Configuração do traçado da protensão externa ao longo das faces laterais das vigas principais.



Foto 7 – Reforço e envolvimento das cordoalhas e desviadores metálicos com concreto após a conclusão da protensão.

## Protensão transversal nas lajes

Quando em um projeto de alargamento de ponte se faz a opção pelo reforço das vigas com protensão externa, sem a adição de novas vigas ao tabuleiro, torna-se necessário aumentar as dimensões das lajes, adequando-as à nova largura da ponte, com um grande acréscimo no comprimento dos dois balanços laterais. Tal acréscimo conduz a grandes deformações caso o novo balanço seja dimensionado pelo método do concreto armado convencional.

A situação torna-se ainda mais crítica pelo fato de o balanço representar a situação mais desfavorável para a nova distribuição das cargas móveis com o Trem-tipo Classe 45 da NBR 7188, existindo situações em que todo o veículo tipo fica contido no trecho da laje em balanço, como é o caso da ponte cuja seção transversal alargada está na figura 4. Observa-se que os balanços da laje original tinham 1,65m e com o acréscimo de 2,10m passaram a ter 3,75m o que representa um significativo aumento do vão, que com o grande acréscimo de carregamento só será viável com a utilização da protensão .

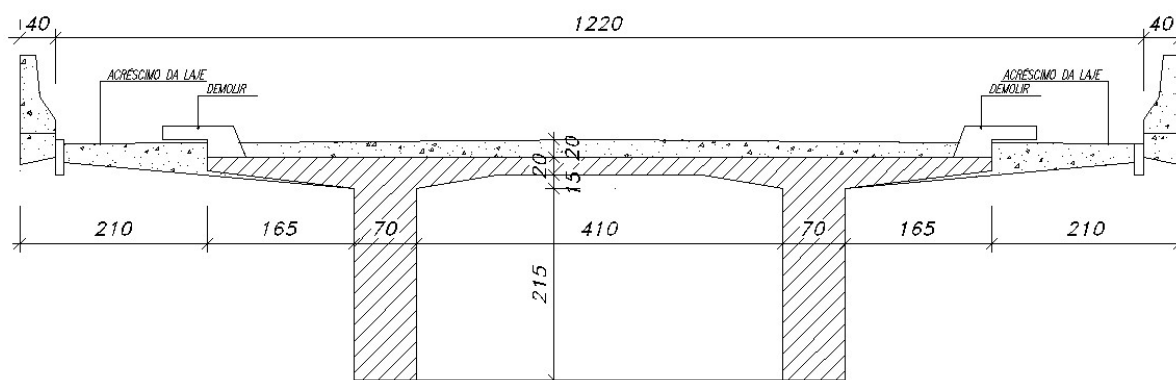


Figura 4 – Grande acréscimo nos comprimentos dos balanços da laje do tabuleiro, causado pela necessidade do alargamento da ponte, caracterizando a necessidade de protensão.

A protensão transversal da laje é feita por meio de cabos constituídos por uma única cordoalha envolvida em bainhas chatas espaçadas conforme o dimensionamento da armadura ativa. Neste caso a protensão é aderente, porque após a sua aplicação é feita injeção de nata de cimento nas bainhas por meio de purgadores.

O dimensionamento da protensão é feito por metro linear de laje, sendo também utilizadas armaduras passivas para complementar a ligação entre o concreto novo e o concreto antigo.

A figura 5 mostra o posicionamento e a especificação da armadura de protensão transversal para o reforço de uma laje de ponte. Na figura 6 estão indicados os detalhes dos nichos de ancoragem dos cabos de reforço da laje.

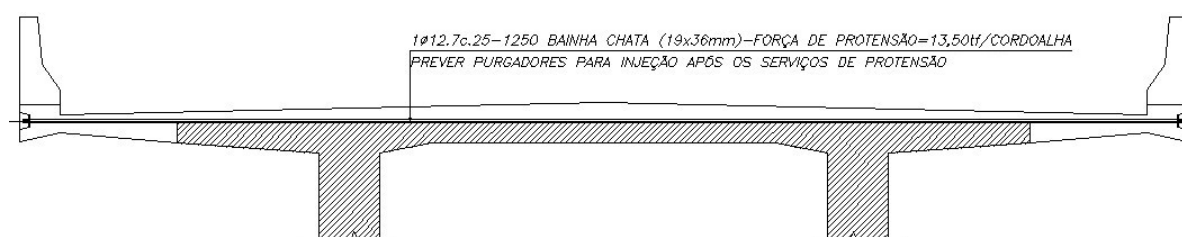


Figura 5 – Posicionamento e especificação da armadura transversal de protensão para o alargamento e reforço da laje.

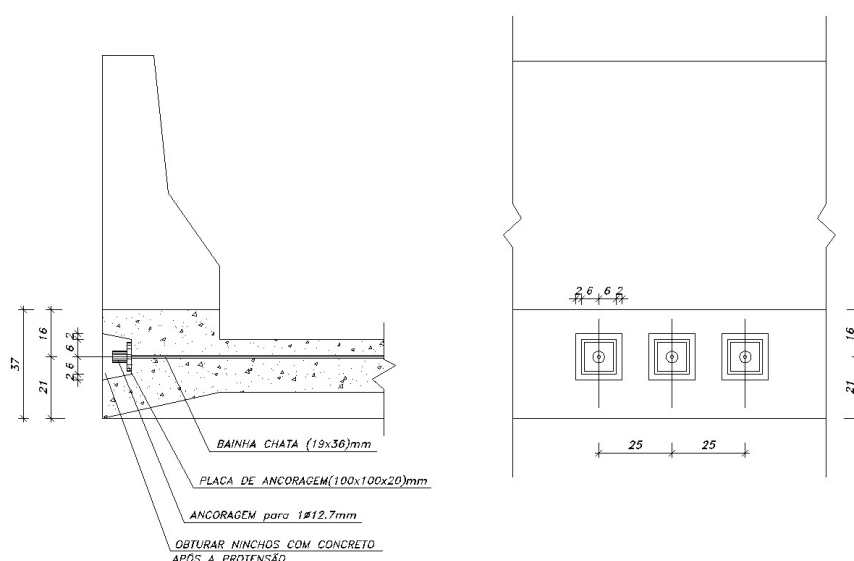


Figura 6 – Detalhe dos nichos de ancoragem dos cabos de protensão nas extremidades das lajes alargadas.

### Aplicação da protensão em reforço de fundações de pontes

Na maioria das vezes em que uma ponte necessita ser alargada e reforçada para suportar os novos esforços resultantes das cargas móveis, distribuídas em um tabuleiro cujo gabarito transversal é superior ao original, torna-se também necessário reforçar as fundações.

Este tipo de reforço é bastante complexo, pelo fato de envolver uma série de incertezas quanto à capacidade de carga real das fundações originais, somadas às

dificuldades naturais de inspeções, à ausência dos projetos e outros fatores dificultadores inerentes ao reforço de fundações.

Nos casos em que as fundações existentes são constituídas por estaqueamento, uma solução bastante apropriada é o reforço com a adição de novas estacas, calculadas a partir das solicitações provenientes das novas cargas permanentes e móveis, que são solidarizadas ao estaqueamento original por meio de um novo bloco de coroamento que envolve o bloco original.

A solidarização entre os dois blocos é realizada por meio de protensão com barras Dywidag, de modo a garantir que o conjunto funcione como um bloco monolítico para a transmissão dos esforços às estacas, conforme determinado pelo modelo de cálculo utilizado.

Na figura 7 está indicada a nova seção transversal de uma ponte cuja fundação em estacas foi reforçada com a utilização deste método. Observar que as vigas desta ponte também estão reforçadas com a aplicação de protensão externa com feixes de monocordoalhas. A figura 8 mostra detalhes do reforço dos blocos de estacas desta mesma ponte.

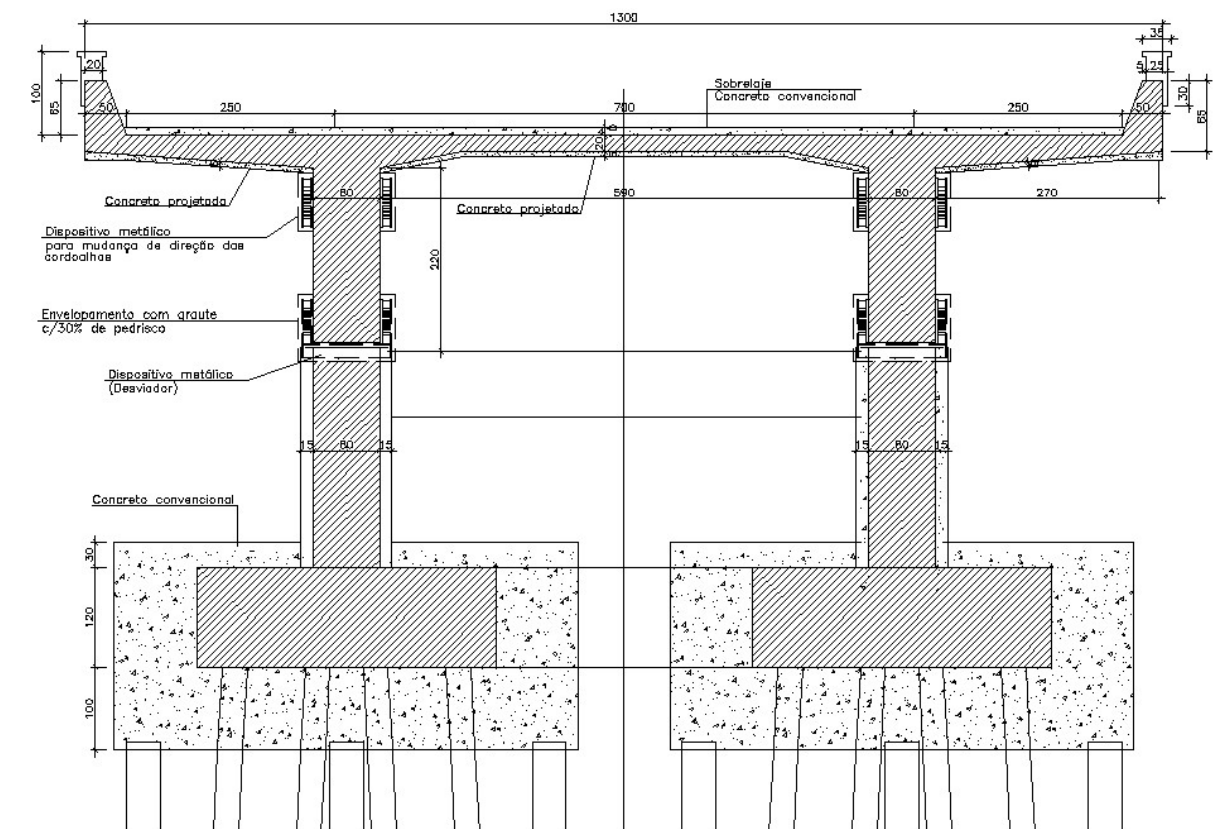


Figura 7 – Seção transversal de uma ponte cujas fundações em estacas foram reforçadas com a utilização de protensão transversal. Observar, também, o reforço das vigas com sistema de monocordoalhas.

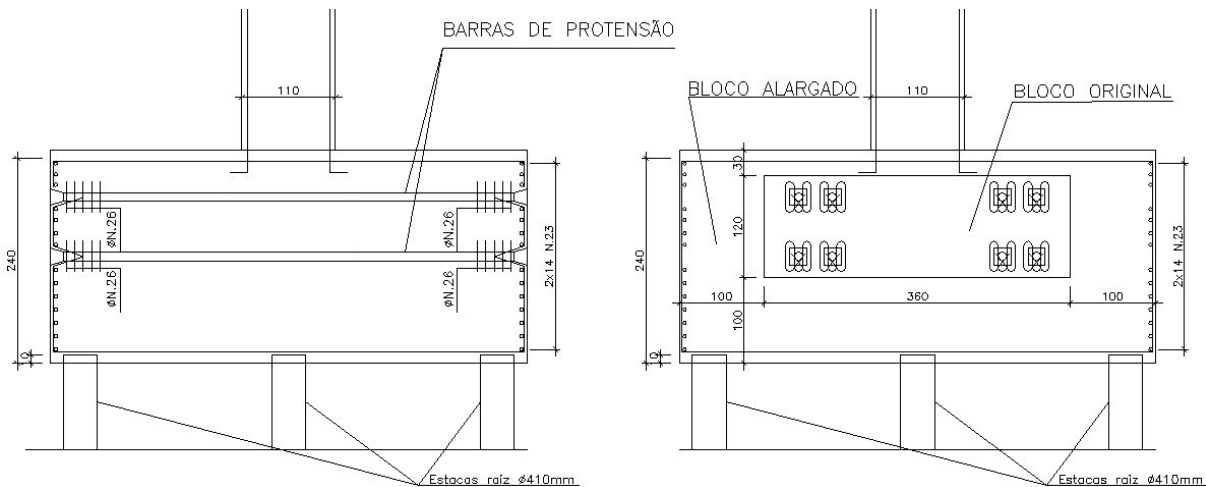


Figura 8 – Detalhes do envolvimento do bloco original pelo novo bloco, e das armaduras de protensão.

## CONCLUSÃO

Como foi dito na introdução, o objetivo deste artigo é contextualizar as questões relacionadas à aplicação da protensão externa no reforço e alargamento de pontes rodoviárias no Brasil, a partir das informações técnicas disponíveis e da própria experiência profissional do autor, que ao longo dos últimos anos tem elaborado grande quantidade de projetos para adequar as pontes antigas aos padrões estruturais e geométricos atualmente exigidos.

A ausência de estudos, pesquisas e publicações técnicas sobre este tema faz com que a elaboração dos projetos, e a execução das obras de reforço e alargamento de pontes, estejam sendo realizados muitas vezes com base apenas na experiência de cada profissional ou empresa, quando deveriam ser feitos a partir de parâmetros técnicos e econômicos disponíveis que permitissem ao projetista tomar decisões sobre a melhor forma de aplicação do método.

É neste contexto que as informações e análises, mesmo que preliminares, contidas neste trabalho pretendem dar uma contribuição à produção do conhecimento sobre um tema que vem mobilizando grande quantidade de engenheiros, na elaboração de projetos, execução de obras e fiscalização de milhares de pontes que estão e continuarão sendo reforçadas e largadas nas rodovias brasileiras durante os próximos anos.

Tudo isso, porém, só terá a devida eficácia se existirem informações e conhecimento técnico disponíveis por meio da divulgação de trabalhos acadêmicos (monografias, dissertações e teses), de artigos em congressos e revistas técnicas especializadas e, principalmente, na interação entre todos os setores que atuam neste campo, de modo que a troca de experiências contribua para que os projetos sejam elaborados a partir de estudos consistentes e tenham melhor qualidade.

Neste sentido, o autor desenvolve atualmente pesquisa de Doutorado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, sob a orientação do Professor

Doutor Rui Carneiro de Barros, que tem como um dos objetivos o aprofundamento e a evolução do tema abordado neste artigo, com o intuito de contribuir para a otimização dos projetos de alargamento e reforço de pontes rodoviárias, a partir da análise comparativa entre este e outros métodos atualmente utilizados no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T.G.M.. **Reforço de Vigas de Concreto Armado por meio de Cabos Externos Protendidos**, Universidade de São Carlos, São Paulo, 2001.

CÁNOVAS, M.F.. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**, Pini Editora, São Paulo, 1988.

DER-SP. **Projeto de Recuperação, Reforço e Alargamento de Obra de Arte Especial**, São Paulo, 2006.

DNIT. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**, Rio de Janeiro, 2004.

DNIT. **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**, Rio de Janeiro, 2010.

ORTEGA, L. M.. **Inspeccion e inventário de puentes**, Simpósio Nacional sobre conservacion, rehabilitacion y gestion de puentes, Madrid, 1991.

PFEIL, W.. **Concreto Protendido**, Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda, Rio de Janeiro, 1988.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T.. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**, Pini Editora, São Paulo, 2004.

VERÍSSIMO, G.S.; CESAR, K.M.L.. **Concreto Protendido, Elementos Básicos**, Universidade Federal de Viçosa, 1998.

VITÓRIO, J. A. P.. **Pontes Rodoviárias – Fundamentos, Conservação e Gestão**, CREA-PE, Recife, 2002.