



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CLEVERSON LUCAS LACERDA

**REFORÇO DE PONTES EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO POR
PROTENSÃO EXTERNA**

UBÁ
2023

CLEVERSON LUCAS LACERDA

**REFORÇO DE PONTES EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO POR
PROTENSÃO EXTERNA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Faculdade
Presidente Antônio Carlos de Ubá - FUPAC
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr.^a Erika Maria Carvalho Silva
Gravina

**UBÁ
2023**

RESUMO

No Brasil, há um desafio significativo em relação à deterioração de muitas obras em concreto armado e concreto protendido, especialmente viadutos e pontes rodoviárias. A falta de inspeções e manutenções, aliada à incapacidade dessas estruturas de suportar as novas cargas impostas pelos veículos de grande porte, contribuem para esse cenário. O método de protensão, que consiste na aplicação de tensões de tração na armadura, que ao voltar à sua posição inicial, exerce compressão no concreto, fortalecendo a estrutura, contribui como solução para esse cenário. O objetivo desse trabalho foi apresentar a técnica de protensão, trazendo as principais patologias observadas em pontes de concreto armado e protendido; descrever as etapas de execução do sistema de protensão externa em pontes, listar as principais vantagens e algumas desvantagens desse método. As principais patologias observadas nessas estruturas são fendas e fissuras, deterioração do concreto e corrosão da armadura. Dessa forma o método em questão é eficaz como reforço estrutural pois conta com menor prazo para execução do reforço, conta com menor carga acrescida a estrutura existente, não requer fechamento completo da ponte restaurada, mantendo assim o fluxo de veículos durante o reforço.

Palavras-chave: Método de Protensão. Concreto Armado e Concreto Protendido
Patologias. Pontes

ABSTRACT

In Brazil, there is a significant challenge regarding the deterioration of many reinforced concrete and prestressed concrete works, especially viaducts and highway bridges. The lack of inspections and maintenance, combined with the inability of these structures to support the new loads imposed by large vehicles, contributes to this scenario. The prestressing method consists of applying tensile stresses to the reinforcement, which, upon returning to its initial position, exerts compression on the concrete, strengthening the structure. This method can be the solution to this scenario. This study aimed to present the prestressing technique, bringing out the main pathologies observed in reinforced and prestressed concrete bridges; describe the stages of implementing the external prestressing system in bridges, list the main advantages and some disadvantages of this method. The main pathologies observed in these structures are cracks and fissures, deterioration of the concrete and corrosion of the reinforcement. The method was demonstrated to be effective as a structural reinforcement as it takes less time to execute the reinforcement, reduces the load added to the existing structure, does not require complete closure of the restored bridge, thus maintaining the flow of vehicles during the reinforcement.

Keywords: Prestressing Method. Reinforcement Concrete and Prestressed Concrete Pathologies. Bridges.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do fluxo de transporte, decorrente do aumento da população e da expansão urbana, é um desafio constante para as infraestruturas de transporte, incluindo as pontes em concreto armado e protendido. O aumento do tráfego rodoviário e ferroviário, bem como a utilização de veículos mais pesados, coloca uma pressão adicional sobre essas estruturas já existentes, levando a uma demanda crescente por medidas de reforço. Além desse acréscimo, outro fator que acomete essas estruturas é o fato de se tornarem obsoletas por falta de inspeção e manutenção (CARDOSO, 2022).

A infraestrutura de pontes em concreto armado e protendido é suscetível a uma variedade de patologias ao longo do tempo, muitas das quais podem comprometer sua integridade estrutural e exigir medidas de reforço. Entre as patologias mais comuns estão a corrosão das armaduras, fissuras, degradação do concreto. Esses problemas, se não tratados de maneira adequada, podem levar a riscos significativos de segurança e custos de manutenção crescentes (SOUZA; MURTA, 2012).

Neste contexto, com o intuito de evitar que a estrutura perca sua capacidade de suportar as forças aplicadas, é possível intervir por meio de reforços estruturais com o propósito de reestabelecer sua capacidade estrutural. A protensão externa surge como uma técnica eficaz para atender a essa demanda. Através da aplicação de cabos de protensão externos, é possível aumentar a capacidade de carga e a resistência das pontes, permitindo que elas suportem os crescentes níveis de tráfego. Além disso, a protensão externa pode ser aplicada de forma localizada, contribuindo para o tratamento de fissuras nas áreas mais afetadas e direcionando o reforço para áreas específicas que estão sob maior tensão, o que resulta em economia de recursos e minimização das interrupções no tráfego (ALMEIDA, 2001).

O objetivo desse trabalho é apresentar a técnica de protensão, trazendo as principais patologias observadas em pontes de concreto armado e protendido; descrevendo as etapas de execução do sistema de protensão externa em pontes, listar as principais vantagens e algumas desvantagens desse método. Como metodologia foi realizada uma revisão bibliográfica retirando textos de livros, jornais, revistas, artigos acadêmicos, sites, cujos autores versam sobre o tema.

O estudo do reforço de pontes por meio da protensão externa justifica-se por ser uma solução eficaz. A protensão externa permite fortalecer a estrutura existente, aumentando sua capacidade de carga, resistência e durabilidade, ao mesmo tempo em que lida com as patologias preexistentes. Sendo assim, o estudo traz uma resposta de como a protensão externa tornou-se uma alternativa viável para a restauração de pontes afetadas por patologias, contribuindo para a segurança pública e a preservação dos ativos de infraestrutura (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Histórico de pontes em concreto armado e protendido no Brasil e no Mundo

Desde 2000 a.C., a argamassa de cal já era utilizada na ilha de Creta. Os romanos, posteriormente fizeram uma descoberta significativa ao encontrar uma areia fina com origem vulcânica que, misturada com argamassa de cal, resultava em uma argamassa altamente resistente. Os romanos passaram a associar a pozolana vulcânica à mistura de areia, pedra e água. Essa combinação foi amplamente empregada em obras datadas do século da era cristã, algumas delas perduram até os dias atuais (BASTOS, 2018).

A primeira ponte em cimento armado foi construída na França no ano de 1875, conhecida como ponte de Monier, com 16,5m de extensão. Essa realização foi atribuída a Joseph Monier, um jardineiro e horticultor francês, que também patenteou a técnica do cimento armado, a qual consistia na união de armações de ferro, cerâmicas, pedras, e argamassas de cimento. No entanto, somente em 1892 surgiu a nomenclatura “concreto armado” (CARDOSO, 2022).

O primeiro registro de uma ponte em concreto armado no Brasil, ocorreu em 1910, na cidade de Socorro, São Paulo. A ponte tem um vão de 28 metros de comprimento e foi projetada pelos engenheiros Guilherme E. Winter e Ernesto Chagas. Por ser uma obra pioneira no país, foram tomados todos os cuidados necessários durante sua construção, seguindo as recomendações estrangeiras da época, sendo inaugurada em 03 de maio de 1910 e talvez existe até os dias atuais (BASTOS, 2019).

Dada a necessidade de vencer grandes vãos, principalmente, em se tratando de pontes, P. H. Jackson de São Francisco propôs o primeiro uso do concreto protendido em 1886. No entanto, durante esse primeiro teste, foi observada uma grande perda do efeito de protensão ao longo do tempo, além dos efeitos de retração e fluência¹ do concreto, o que tornou o método inviável naquele momento. Mais tarde, em 1928, Eugene Freyssinet patenteou um sistema de protensão com tensões no aço superiores a 400N/mm², após realizar um estudo sobre os efeitos

¹ Fluência do concreto: Deformação lenta ao longo do tempo sob ação de cargas permanentes.

de retração e fluência do concreto. Isso permitiu um melhor controle da perda do efeito de protensão ao longo do tempo. Em 1941, Freyssinet concluiu com sucesso a primeira obra em concreto protendido (LIMA, 2001; VERLY, 2016).

Em 1945 com o fim da Segunda Guerra Mundial, surgiu a necessidade de reconstruir diversas pontes. Desta forma, o uso de concreto protendido teve um grande impulso na Europa (LIMA, 2001).

No Brasil, a primeira ponte em concreto protendido foi inaugurada em 1948, na cidade do Rio de Janeiro, conhecida como Ponte do Galeão. Essa ponte utilizou os sistemas de construção propostos por Eugene Freyssinet. Com o passar dos anos, o Brasil investiu cada vez mais nesse método, alcançando a mesma excelência de países pioneiros. Em 1974, foi inaugurada a imponente Ponte Presidente Costa e Silva, mais conhecida como Ponte Rio-Niterói, que se tornou a maior ponte do Hemisfério Sul. Além disso, ela conta com a estrutura mais importante em concreto protendido das Américas, com 2.150 quilômetros de cabos em seu interior. Vale ressaltar que, essa grande estrutura passa por vistorias e manutenção para preservar sua integridade (BASTOS, 2018).

2.2 Concreto armado

O material mais comum nas obras da antiguidade era a pedra e a madeira, devido à sua grande disponibilidade na natureza e alta resistência. Por isso, muitas grandes obras antigas permanecem até os tempos atuais, como pontes e castelos. As pedras naturais possuem alta resistência à compressão e baixa resistência à tração, o que as torna inadequadas para fins nos quais a peça será submetida à tração parcial ou total, como vigas, tirantes e lajes. Essa característica é semelhante à do concreto, uma vez que ambos têm alta resistência à compressão e baixa resistência à tração (MARINHO, 2022).

Para superar essa limitação no uso do concreto, ele é combinado com o aço, que possui alta resistência à tração. A utilização conjunta desses dois componentes é conhecida como concreto armado, resultando em um material com alta resistência tanto à tração quanto à compressão. O concreto armado une as melhores características do concreto e do aço, possibilitando obras de grande porte com grandes volumes de concreto, ou em formas mais esbeltas, com menor custo, maior resistência e durabilidade (MARINHO, 2022).

É importante destacar que o aço pode sofrer o processo de corrosão, patologia que ocorre quando exposto a agentes do meio em que está inserido, todavia, no caso do concreto armado, o aço fica envolvido e protegido. Por isso, é importante seguir minuciosamente o projeto e as normas sobre cobrimento em cada meio o qual o concreto será exposto (BASTOS, 2019).

2.3 Concreto protendido

O concreto protendido tem como base a aplicação de tensões prévias de compressão, com o objetivo de diminuir ou anular as tensões de tração que a peça poderá suportar. Esse método envolve a aplicação de tensões de tração na armadura, antes ou depois da execução da peça, ela se estende, e ao voltar à sua posição inicial, exerce compressão no concreto, fortalecendo a estrutura. O método visa preencher os vazios no concreto, tornando-o menos poroso e reduzindo a formação de fissuras. Os primeiros testes realizados por P. H. Jackson de São Francisco no ano de 1886 não foram bem-sucedidos devido à grande perda do efeito de protensão causada pela baixa qualidade do material da época, bem como problemas de retração e fluência do concreto. Esses desafios só foram superados em 1928 por Eugene Freyssinet (LIMA, 2001; TEJEDOR, 2013).

Após os primeiros estudos de Eugene, outros engenheiros desenvolveram outras pesquisas e aperfeiçoamentos dos métodos. Em 1949, o concreto protendido passou a ser muito utilizado em pontes e grandes estruturas, se tornando cada vez mais comum, gerando assim um desenvolvimento no estudo de materiais para atender às novas necessidades. Novos tipos de aço e outros materiais surgiram com essa demanda do sistema, além de técnicas mais eficazes que possibilitaram a execução do método (LIMA, 2001).

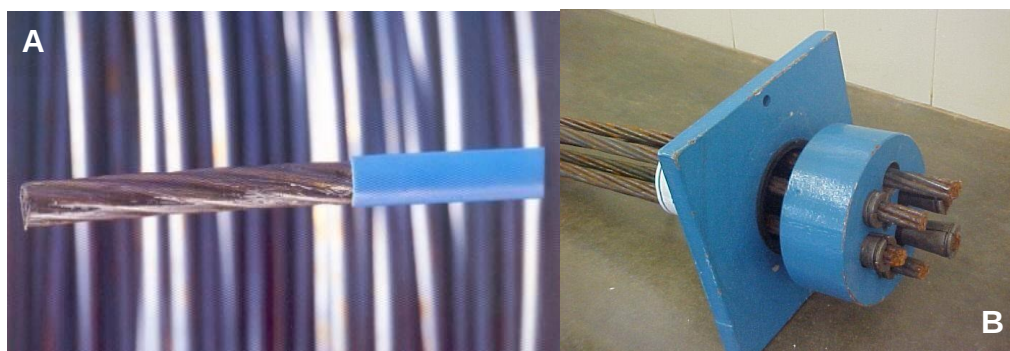
2.4 Tipos de cordoalha para protensão

Os aços empregados em concreto protendido são identificados pela sigla CP (Concreto Protendido), seguida de sua tensão característica de ruptura em kN/cm^2 e pela relaxação da cordoalha que ocorre quando há uma diminuição gradual das tensões inicialmente aplicada, que pode ser classificada como normal (RN) ou baixa (RB). A tensão característica de ruptura é fundamental para determinar a máxima

carga que o aço pode suportar antes de se romper. Esses aços passam por um processo de encruamento² do aço, durante esse processo o aço sofre um endurecimento, resultando em uma maior resistência mecânica e menor ductibilidade. Esse processo antecede o tratamento térmico. Essa condição torna-os mais suscetíveis e vulneráveis à corrosão, comparados às armaduras passivas laminadas a quente. A tensão de tração contínua aumenta a exposição à corrosão, o que pode comprometer a durabilidade da estrutura (LARANJEIRA, 2019; PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018).

Portanto, para garantir uma durabilidade prolongada e um desempenho confiável, é fundamental que esses aços não apenas possuam alta resistência à tração, mas também apresentem uma notável resistência à corrosão e às variações de tensão. As cordoalhas podem ser engraxadas ou não, conforme se observa na FIG. 1. Cordoalhas não engraxadas são compostas por fios de aço torcidos, sem qualquer tipo de tratamento ou revestimento especial, sendo muito versáteis e utilizadas em diversos tipos de obras, além de possuírem menor custo em comparação com as armaduras engraxadas. Já as cordoalhas engraxadas passam por um processo adicional de lubrificação e proteção antes de serem torcidas. Essa característica oferece maior proteção da armadura contra corrosão, pois a presença de graxa entre os fios diminui o atrito interno, facilitando o processo de protensão (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018; BASSO, 2018).

Figura 1 – a) Cordoalha engraxada de 7 fios b) Cordoalhas sem graxa



Fonte: Bastos³ (2019, p. 26) Adaptada pelo autor

² Encruamento: Deformação do aço devido a elevação da tensão de escoamento na fase de deformação plástica, ocorre com o aço a frio.

³ <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>

Os tipos mais comuns de aço para protensão são os seguintes: Aço CP190, que possui uma alta resistência à tração, em torno de 1900 MPa, sendo adequado para situações que exigem forças de protensão elevadas; Aço CP85/105, cuja resistência à tração varia de 850 MPa a 1050 MPa, sendo uma opção para situações que demandam forças de protensão mais baixas; Aço CP177, com uma resistência à tração em torno de 1770 MPa, sendo recomendado para situações com forças de protensão moderadas. No Brasil, é possível encontrar cordoalhas com 3 a 7 fios e espessuras variando de 5 mm a 15,2 mm (BASSO, 2018; LARANJEIRA, 2019).

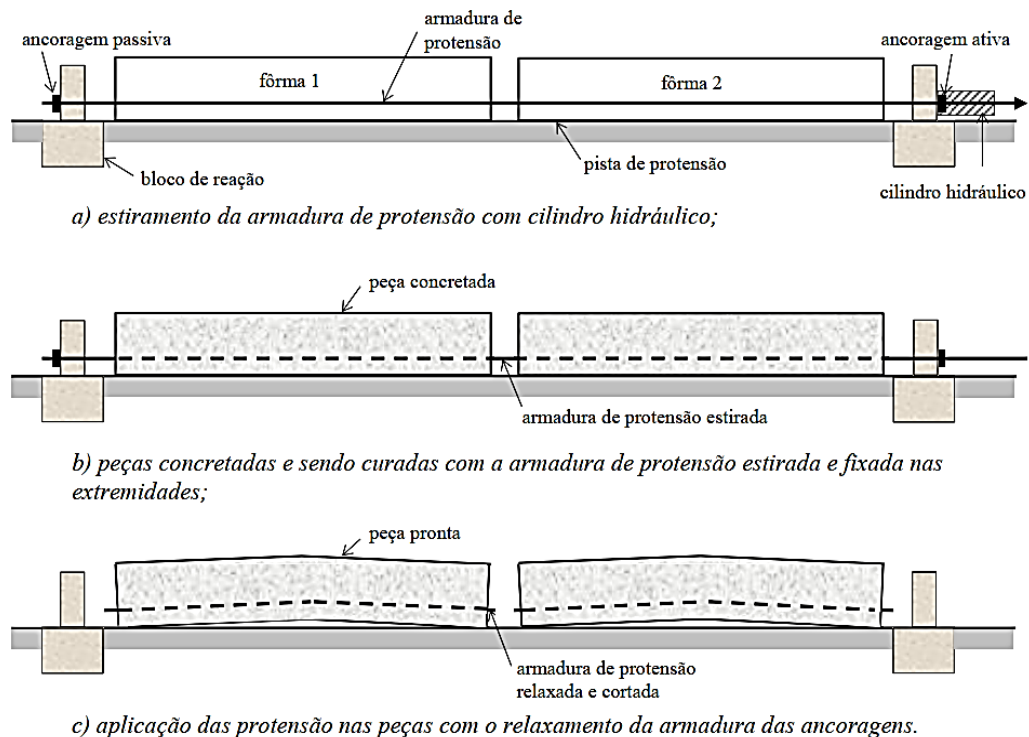
2.5 Sistemas de protensão

A protensão é uma técnica de fortalecimento estrutural que implica o estiramento (tracionamento) da armadura de protensão através do uso de cilindro hidráulico (macaco hidráulico). Esse método pode ser usado antes ou após o lançamento e endurecimento do concreto. Quando o tracionamento do aço ocorre após o endurecimento do concreto, chama-se de pós-tensão ou pós-tração. Já quando o tracionamento é realizado antes da moldagem do concreto, tem-se a pré-tensão ou pré-tração (BASTOS, 2019; VERISSIMO; CESAR JÚNIOR, 1998).

2.5.1 Protensão com pré-tensão

Método mais comumente utilizado na produção de peças pré-moldadas em campos de protensão ou próximos aos locais onde as peças serão utilizadas. Consiste em estirar (tracionar) a armadura de protensão antes da moldagem e endurecimento do concreto. Uma pista de protensão é uma base plana e reta onde são posicionadas as fôrmas para a moldagem das peças pré-moldadas. O comprimento dessa pista varia de acordo com o comprimento da peça a ser fabricada. Nas extremidades, existem blocos de reação (estruturas geralmente compostas por concreto e aço) que transmitem os esforços ao solo por meio de fundações (BASTOS, 2019). Através dessas estruturas, as armaduras das peças a serem moldadas são fixadas, como pode ser observado na FIG. 2.

Figura 2 – Protensão com pré-tensão



Fonte: Bastos⁴ (2019, p.14)

As cordoalhas (armaduras) são posicionadas ao longo das pistas de protensão. Em uma das extremidades, encontra-se a ancoragem passiva, onde a cordoalha é fixada ao bloco. Na outra extremidade, tem-se a ancoragem ativa, onde a armadura é tracionada fio a fio com o uso de cilindro hidráulico apoiado pelo bloco de reação. Após o estiramento, instalam-se os dispositivos de ancoragem ativa e o cilindro é retirado para estirar a próxima cordoalha. Dessa forma, a extremidade onde a cordoalha é submetida à tração é denominada ancoragem ativa, enquanto a extremidade onde não há aplicação de força é chamada de ancoragem passiva (BASTOS, 2019).

Após o estiramento e fixação de todos os fios na pista de protensão, o concreto é lançado na forma. Após o período de secagem e cura do concreto, o necessário para que o mesmo adquira resistência, os fios são soltos das ancoragens. Nesse momento, ocorre a transferência das tensões da protensão para

⁴ <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>

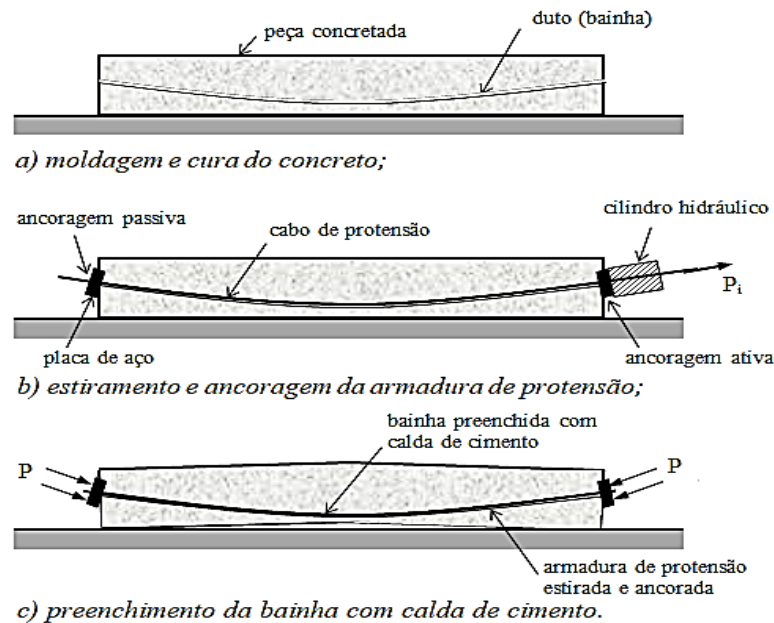
o concreto, pois os fios tendem a voltar ao seu estado inicial, enquanto estão no seu período elástico. No entanto, eles são restringidos pelo concreto, comprimindo assim toda a peça ao longo do seu comprimento (LIMA, 2001; BASTOS, 2019).

2.5.2 Protensão com pós-tensão

Neste método, a armadura é estirada após o lançamento do concreto, quando a peça atinge a resistência suficiente para resistir as tensões de compressão proveniente da protensão (BASTOS, 2019).

As cordoalhas são colocadas no interior da fôrma, podendo ser engraxadas ou não. Em uma das extremidades é realizado o travamento da cordoalha, sendo esta, a ancoragem passiva. Na outra extremidade, deixa-se uma ponta com sobra onde será realizado o estiramento da armadura, sendo essa extremidade a ancoragem ativa. Estas armaduras são dispostas ao longo do comprimento das fôrmas, a posição pode variar de acordo com o projeto e o ponto de atuação da peça, em seguida o concreto é lançado na fôrma, envolvendo a armadura ao longo do seu comprimento. Após o concreto atingir a resistência requerida, a extremidade da ancoragem ativa é tracionada com o uso de cilindro hidráulico. Após a conclusão do estiramento, o cilindro é retirado e são dispostas as cunhas na ponta dos cabos de ancoragem ativa, conforme se pode observar na FIG.3. A armadura tende a voltar à sua deformação inicial fazendo com que o concreto fique comprimido (BASTOS, 2019).

Figura 3 – Protensão com pós-tensão



5

Fonte: Bastos (2019, p.21)⁶

2.6 Patologias em estruturas de concreto armado e protendido

Pesquisa em patologia estrutural é fundamental para preservar a segurança e funcionalidades das pontes e viadutos, consideradas obras de arte especiais na engenharia. É importante o estudo e o desenvolvimento contínuo de métodos de avaliação e recuperação para garantir a durabilidade e segurança dessas estruturas. As patologias no concreto podem estar diretamente ligadas a cada um de seus componentes como areia, brita, água, cimento, aditivos, devido à falta de homogeneidade e granulometria dos materiais utilizados nos traços de concreto. A má qualidade dos materiais influencia diretamente na resistência final do concreto, tornando o concreto fragilizado aos ataques do meio degenerativo (LOURENÇO *et al.*, 2009; OLIVEIRA, 2013).

Em pontes e viadutos de concreto armado, é frequente o surgimento de problemas devido aos erros durante a execução da estrutura, ao uso constante e à falta de planejamento e inspeções preventivas. Os principais problemas incluem a

⁵ Preenchimento por calda de cimento: é injetada uma nata de cimento ao redor da armadura com objetivo de proteger as barras de aço contra corrosão e fornecer aderência entre aço e concreto.

⁶ <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>

corrosão das armaduras, que ocorre devido à exposição prolongada a agentes ambientais agressivos; a deterioração das juntas de dilatação devido à movimentação natural da estrutura; a infiltração de água, causada pela falta de impermeabilização adequada, os danos nos apoios principais, devido à carga e ao envelhecimento; o surgimento de fendas e fissuras, devido à variações térmicas e aos carregamentos, e à aplicação incorreta de impermeabilização e à ruptura do material vedante por desgaste ou aplicação inadequada (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018; HELENE, 1993).

2.6.1 Fendas e fissuras

Uma fenda ou fissura no concreto é uma abertura ou rachadura superficial que se forma na superfície ou no interior de uma estrutura de concreto. Essas fissuras geralmente têm formato estreito e alongado que pode variar em tamanho, extensão e profundidade, sendo esta anomalia comum em pontes de concreto armado (CAMARGO, 2017). O aparecimento destas patologias pode ter relação com:

- A. Distribuição de cargas: Uma distribuição inadequada das forças pode levar à concentração excessiva de cargas em áreas específicas, ultrapassando a capacidade de cargas dos materiais nesses pontos, e resultando na formação de fissuras. Sobrecargas, como tráfego intenso e cargas anormais, assim como movimentos de expansão e retração do concreto causados pelas variações de temperatura desempenham papéis significativos no surgimento das fissuras (CAMARGO, 2017).
- B. Retração do Concreto: Ocorre durante o processo de cura do concreto, que passa por retração devido à evaporação da água e à redução do material (CAMARGO, 2017).
- C. Ação de agentes agressivos: A exposição aos agentes agressivos como água, produtos químicos, sulfatos, esgotos, ciclos de congelamento e descongelamento podem deteriorar o concreto levando a apresentar fissuras (DE MORAIS *et al.*, 2020).

O surgimento de fissuras em pontes pode comprometer a integridade estrutural, diminuindo sua capacidade projetada e encurtando sua vida útil. Além disso, representa uma ameaça à segurança da estrutura, permitindo a infiltração de

água e acelerando a corrosão das armaduras, danificando o concreto. Uma abordagem eficaz para controlar o aparecimento de fissuras inclui a utilização de aditivos redutores de retração e expansão térmica no concreto, a implementação de um adequado processo de cura para manter a estrutura hidratada, a realização de programas de inspeção para detectar fissuras e a adoção de medidas corretivas, como o uso de resinas para preenchimento das fissuras na área afetada (LOURENÇO *et al.*, 2009).

2.6.2 Deteriorações em concreto

A deterioração no concreto é o processo de perda de qualidade, resistência e integridade do material de concreto com o passar do tempo. Esta patologia resulta em danos físicos, químicos ou mecânicos que afeta estruturas de concreto, incluindo edifícios, pontes, barragens, estradas e demais estruturas de concreto. As causas do aparecimento de deterioração no concreto podem estar relacionadas a fatores ambientais, processos físicos, químicos e biológicos (MORAIS *et al.*, 2020). Segundo Souza e Santos (2021) as principais causas são:

- A. Exposição a agentes químicos: a reação do concreto com ácidos, sais, sulfatos, cloretos e outras substâncias químicas presentes no meio levam à deterioração química do concreto.
- B. Elevadas variações de temperatura: em regiões com grandes variações de temperatura, a água presente em fissuras pode congelar e expandir, o que pode levar à desagregação do material.
- C. Infiltração de água: em estruturas de concreto em meio agressivo, pode ocorrer a infiltração de substâncias no concreto, levando à deterioração e desintegração do material.
- D. Corrosão das armaduras: a infiltração de água no concreto pode chegar às armaduras de aço, acarretando a corrosão acelerada da mesma, gerando riscos à estrutura.

A deterioração no concreto pode surgir de várias formas, como fissuras, deslocamento, esfoliação, perda de resistência e manchas eflorescência, sendo assim, a identificação e o tratamento precoce são fatores importantes para manter a integridade e a conservação da estrutura (MORAIS *et al.*, 2020).

2.6.3 Corrosão da armadura

Segundo Novaes e Poznyakov (2021) a corrosão da armadura é uma das patologias mais graves que podem afetar a durabilidade e integridade de estruturas de concreto armado. O processo de corrosão acontece quando o aço das armaduras reage com o meio ao seu redor, resultando na deterioração das armaduras e levando ao enfraquecimento da estrutura como um todo. As principais causas de corrosão da armadura são:

- A. Exposição a cloretos: Comum em ambientes marinhos, a exposição a cloretos é uma das principais causas de corrosão da armadura.
- B. Surgimento de fissuras e infiltração de água: Ocorre a abertura de fissuras no concreto, é fator que permite a infiltração de água até atingir a armadura.
- C. Carbonatação: Processo onde o dióxido de carbono penetra na estrutura e reduz o pH, podendo reduzir a camada de proteção das armaduras, tornando-as mais suscetíveis a corrosão.

As principais características de corrosão na armadura são formação de ferrugem devido ao processo de reação química do aço das armaduras e o oxigênio, que resulta no aumento do volume, causando fissuração e deslocamento do concreto ao redor; perda da adesão, que devido à camada formada por ferrugem, atrapalha a adesão do concreto à armadura, agravando a deterioração do concreto. Deve-se manter práticas adequadas de construção, manutenção regular, monitoramento contínuo, a fim de garantir a segurança pública e longevidade das estruturas (MORAIS *et al.*, 2020; VERLY, 2016).

2.6.4 Causas de patologias

As causas para o aparecimento de patologias podem ocorrer a longo ou curto prazo, pois o concreto e a armadura sofrem alterações químicas ao longo do tempo. Portanto, é necessário acompanhamento e manutenção da estrutura. Fatores que aceleram o processo químico desses componentes podem estar relacionados a falhas durante a execução da estrutura, manuseio ou armazenamento incorreto de suprimentos, transporte e lançamento do concreto, corte e dobra da armadura, leitura incorreta do projeto, uso de concreto com baixa resistência ou alta porosidade, não segmento do cobrimento da armadura especificado pelas normas,

o que pode gerar problemas como armadura exposta, levando à corrosão mais acelerada da mesma (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018; TEJEDOR, 2013).

Além disso, as causas das patologias podem estar relacionadas ao aumento das cargas atuantes sobre a estrutura, uso de materiais de má qualidade ou falta de controle sobre os mesmos, concretagem em condições de temperatura extrema ou falhas na concretagem, como a falta de vibração do concreto ou lançamento em grandes alturas, o que pode levar à segregação do concreto e fazer com que ele não atinja a resistência necessária (TEJEDOR, 2013; SOUZA; MURTA, 2012).

2.7 Recuperação e reforço estrutural de pontes

Devido às mudanças químicas que o aço e o concreto sofrem ao longo do tempo é razoável que se ateste que estruturas de concreto armado não são eternas, sendo assim, precisam de fiscalização e manutenção, as causas podem estar relacionadas a problemas que surgem ao longo do tempo ou mesmo problemas instantâneos durante processo de concretagem (OLIVEIRA, 2013).

Tendo em vista tais problemas, quanto antes se intervir, menor será o agravamento das patologias, tornando a recuperação mais efetiva, durável, simples e barata. Há também a necessidade de adequação das estruturas por se tornarem defasadas ou não comportar o aumento do fluxo de veículos e o aumento de cargas permitido atualmente (OLIVEIRA, 2013).

Há diversas formas de se fazer o reforço estrutural. Para se escolher o melhor método, deve se analisar o motivo ou causa do reforço, o tipo de uso futuro o tempo disponível para execução, fechamento parcial ou total da estrutura, os materiais e mão de obra disponíveis, o esforço pelo qual a estrutura está sendo solicitada (tração, compressão, flexão, cisalhamento), e o quantitativo de grandeza do acréscimo de resistência (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018).

Certamente, existem várias técnicas de se fazer o reforço em estruturas de concreto armado. Alguns exemplos são: incorporação de armaduras adicionais, envelopamento (aumento da seção por revestimento da peça), adição de chapas metálicas ou fibras poliméricas, podendo ser fibras de vidro ou de carbono, e a adição de cabos externos protendidos (BRITO JÚNIOR, 2022).

2.7.1 Protensão externa aplicada a reforços estruturais de pontes

O método de protensão externa é um procedimento aplicado para reforçar e fortalecer estruturas de concreto armado, especialmente vigas, que apresentam fissuras ou necessitam de maior resistência. Esse processo envolve a fixação de cabos na parte externa da estrutura e, posteriormente, a aplicação de forças de tração nesses cabos. Os cabos utilizados são conduzidos por desviadores como observa-se na FIG.4, estão firmemente fixados à estrutura existente através de dispositivos de ancoragem (FIG. 5) (ALMEIDA, 2001; VITORIO; BARROS, 2011).

Figura 4 – Desviador superior e inferior na viga



Fonte: Hotmart (2023)⁷

⁷ <https://hotmart.com/pt-br/marketplace/produtos/protensao-externa-em-reforcos-estruturais/P37765347P>

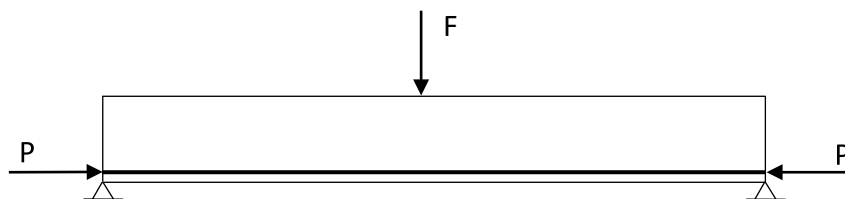
Figura 5 - Dispositivos utilizados para a ancoragem das cordoalhas nas extremidades da viga



Fonte: (Vitório; Barros, 2011)⁸

A disposição dos desviadores pode seguir duas abordagens principais: alinhamento no sentido horizontal apresentado pela FIG. 6, ou com desvios na trajetória, criando um padrão poligonal apresentado pela FIG. 7. Os desviadores são dispositivos usados para redirecionar as cordoalhas para a posição desejada na viga e assegurar uma distribuição uniforme de protensão, reestabelecendo a estrutura (MARIANO, 2015).

Figura 6 – Desviadores alinhados no sentido horizontal

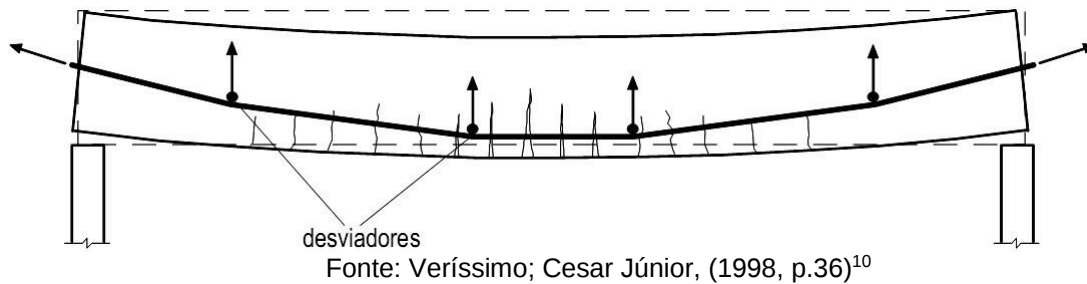


Fonte: Bastos (2019), adaptado pelo autor⁹

⁸https://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Reforco_Alargamento_Pontes_Rodoviaras_Uso_Protensao_Externa.pdf

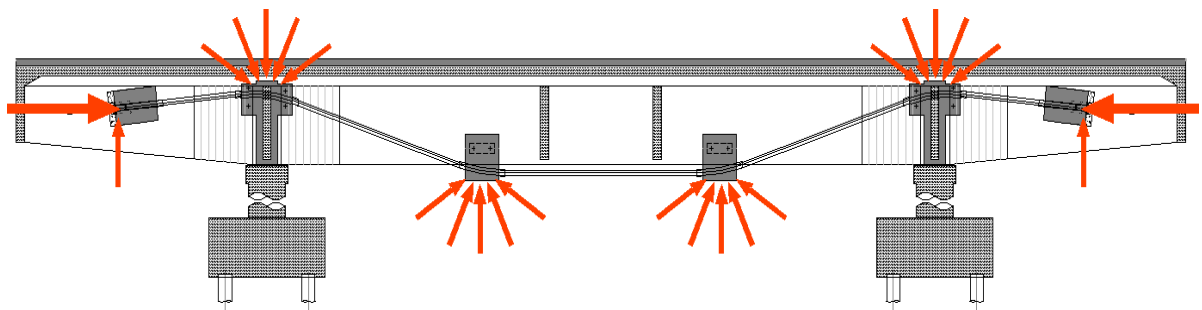
⁹ <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>

Figura 7 – Detalhe de viga protendida externamente (desviadores com padrão poligonal para os cabos)



No primeiro caso, os desviadores estão alinhados horizontalmente, o que permite gerar esforços de compressão longitudinal nas vigas, reforçando-as. Na segunda abordagem, os desviadores apresentam variações em sua trajetória, resultando em um padrão poligonal para os cabos. Essa disposição cria forças que atuam no sentido contrário às solicitações naturais da estrutura, como representado pela FIG.8, conferindo maior resistência e estabilidade (ALMEIDA, 2001).

Figura 8 - Forças aplicadas pela protensão externa



O método de reforço de protensão externa em uma viga fissurada de concreto armado ou protendido contrabalança as tensões de tração presentes no concreto fissurado, impedindo o aumento das fissuras e, muitas vezes, fechando fissuras existentes (MARIANO, 2015).

A distribuição estratégica dos cabos e sua inclinação podem ser ajustadas para otimizar a capacidade de resistir a diferentes esforços. Para reforçar vigas contra momentos fletores positivos e negativos, os cabos podem ser posicionados

¹⁰ <https://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>

¹¹ https://web.archive.org/web/20200319190036id_/http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/2526-7248.020

de maneira a gerar compressão no concreto nas regiões onde é necessário reforçar. A inclinação dos cabos pode ser projetada para contribuir no combate de esforços cortantes ajudando a redistribuir as cargas de maneira eficaz e aumentando a capacidade de suportar esses esforços (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018).

No reforço das longarinas (vigas paralelas ao fluxo) de pontes por meio do método de protensão externa, é comum empregar barras de aço CP85/105 quando os desviadores permanecem alinhados no sentido horizontal. Para casos de reforço utilizando protensão com desenvolvimento poligonal, é recomendado o uso de aço CP190, sendo possível ajustar a altura de instalação dos desviadores e passagem das cordoalhas de acordo com os principais esforços (tração e compressão) resistidos pela viga, seguindo as exigências do projeto e as necessidades estruturais (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018).

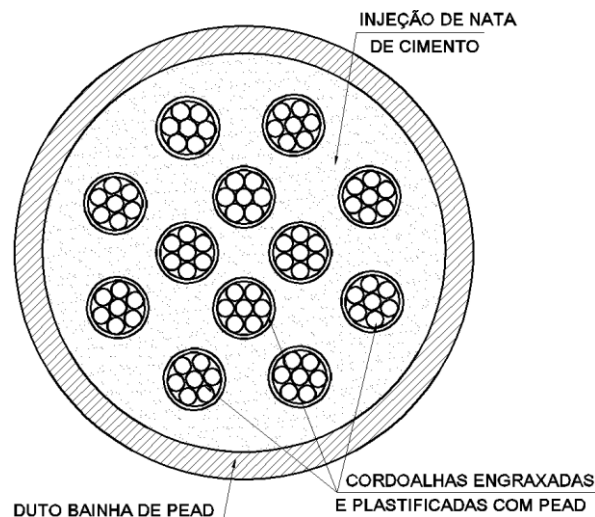
As cordoalhas podem percorrer rente à alma da viga, espaçadas nos desviadores, sendo de uso mais comum para reforços de vigas longarinas, nesse caso é comum o uso de ancoragem e desviadores metálicos. Outra possibilidade são as cordoalhas que percorrerem unidas dentro de um duto. Nesse caso podem-se utilizar desviadores e blocos de ancoragem em concreto armado ou metálico, o método de passagem e a definição do mesmo são definidos pelo projetista. Observa-se na FIG. 9 a protensão externa por duto com desviadores metálicos. O duto pode ser preenchido com nata de cimento, responsável por preencher os espaços vazios entre as barras de aço, formando uma camada protetora, após o endurecimento, essa bainha de cimento protege a armadura contra corrosão como é possível observar na FIG.10 (PINHEIRO; SILVA; FLORENCIO, 2018).

Figura 9 – Protensão externa por duto para reforço de viga longarina



Fonte: Evehx, (2023)¹²

Figura 10 – Bainha PEAD com preenchimento de nata de cimento



Fonte: Pinheiro; Silva; Florencio, (2018, p 54)¹³

Essa técnica, empregada para reforço estrutural, é conhecida como pós-tensão. Ao abordar reforços em estruturas frequentemente já danificadas, o dimensionamento requer métodos de cálculo específicos para avaliar o nível de dano da estrutura atual e determinar a carga adicional que a estrutura precisa resistir (VERLY, 2016).

¹² <https://evehx.com/reforco-para-estruturas-com-protensao-externa/>

¹³ https://web.archive.org/web/20200319190036id_/http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/2526-7248.020

2.7.2 Tipos de desviadores para protensão externa

Na técnica de protensão externa, os desviadores desempenham um papel muito relevante. São responsáveis por alterar a direção das cordoalhas ou barras de protensão, garantindo que as forças de protensão sejam aplicadas com precisão e controle na estrutura já existente. Os desviadores podem ser divididos em três tipos principais: os que utilizam roldanas, minimizando o atrito e permitindo mudanças de direção em diferentes ângulos; os que empregam polias, oferecendo flexibilidade e baixo atrito para guiar as forças de protensão; e os que combinam roldanas e polias, proporcionando uma maior flexibilidade em mudanças de direção, sendo especialmente úteis em projetos com desvios complexos (ALMEIDA, 2001).

2.7.3 Vantagens e desvantagens do uso de reforço por protensão externa

A protensão externa é uma técnica que se tornou fundamental na engenharia civil, utilizada como método construtivo e principalmente como finalidade de reforço estrutural em obras de concreto armado e protendido, o método trouxe muitas vantagens e com elas algumas desvantagens, que serão discutidas a seguir (TEJEDOR, 2013).

Segundo Tejedor (2013), as principais vantagens do método de protensão externa associadas às pontes são:

- A. Menor consumo de concreto ao eliminar a necessidade de encamisamento de toda a estrutura para resistir às novas demandas de uso.
- B. Baixa perda de protensão por não ter aderência ao concreto.
- C. Pouco acréscimo de peso adicionado à estrutura existente.
- D. É possível executar o reforço de pontes sem o fechamento e interrupção do tráfego.
- E. O uso de cordoalhas e dutos externos facilita futuras manutenções.
- F. O dimensionamento da protensão externa considera todos os elementos estruturais da estrutura existente.
- G. Redução de deformações, pois são controladas pelos desviadores empregados na estrutura existente.
- H. A técnica oferece a possibilidade de ajustar a excentricidade (distância entre a linha de ação da força aplicada pelos cabos e o eixo neutro da viga) dos

cabos ao fixar desviadores e ancoragens em alturas específicas da viga, permitindo uma seleção precisa.

- I. Facilidade de trabalho em elevadas alturas ou lugares de difícil acesso devido ao baixo peso dos equipamentos.

Segundo Pinheiro, Silva e Florencio, (2018), as principais desvantagens do método são:

- A. O método requer mão de obra especializada devido à técnica e equipamentos não convencionais.
- B. Requer proteção à corrosão da armadura, aos desviadores e às ancoragens.
- C. O reforço fica exposto ao meio correndo risco de impactos e incêndios.
- D. A danificação em um desviador ou ancoragem da estrutura pode condenar todo o reforço.
- E. Deve-se levar em consideração o peso dos desviadores na estrutura, principalmente quando executados em concreto.
- F. O método de protensão com concreto convencional pode apresentar dificuldades quando a estrutura possui baixa resistência à compressão, resultando na incapacidade de suportar as cargas iniciais de protensão de maneira adequada.
- G. As altas concentrações de esforços devido à transferência de carga dos desviadores para a viga, gera grandes esforços em pequenas áreas na estrutura necessitando avaliação dos pontos associados.
- H. A instalação dos desviadores nas vigas transversais pode enfrentar desafios, especialmente dependendo da resistência do concreto da estrutura existente. A dificuldade pode estar associada à capacidade do concreto de suportar e acomodar a fixação dos desviadores de forma segura e eficaz.

2.8 Perdas de protensão

As perdas de protensão referem-se à diminuição ao longo do tempo da força de protensão inicialmente aplicada às cordoalhas utilizadas nas peças protendidas. Essas perdas são cruciais no projeto de peças em concreto protendido e variam com o tempo, tamanho da peça, e destino para o qual será empregada. Deve-se levar em consideração todas as perdas como imediatas e progressivas, elas levam

a reduções no cálculo final das protensões (FREITAS, VASCONCELLOS; MOURA, 2018).

Aplicada a pós tensão (tração da armadura após a concretagem da peça) as perdas de protensão podem ser divididas em perdas imediatas e perdas progressivas (FREITAS, VASCONCELLOS; MOURA, 2018).

2.8.1 Perdas imediatas

Perdas imediatas ocorrem durante a transferência de protensão no concreto, esse processo ocorre devido a três fatores, sendo eles encurtamento imediato do concreto, atrito entre as cordoalhas e a bainha e deslizamento da armadura de protensão no sistema de ancoragem (DUTRA, 2017).

2.8.1.1 Encurtamento imediato do concreto

No pós-tensionamento, o concreto sofre um encurtamento imediato devido às deformações elásticas após a aplicação da força de protensão. Em elementos como vigas, ao tensionar uma nova cordoalha, pode ocorrer um relaxamento nas cordoalhas tracionadas anteriormente na mesma peça, devido à redistribuição das forças no sistema (TAVARES, 2020).

2.8.1.2 Atrito entre as cordoalhas e bainha

Perdas de cargas por atrito ocorrem devido ao contato entre a cordoalha e a bainha de plástico ou metálica, esse atrito reduz a força de protensão aplicada. A perda de carga varia de acordo com a rugosidade da cordoalha, o diâmetro da cordoalha e bainha, e em casos de bainha engraxada onde a presença de lubrificante reduz o atrito entre cordoalha e bainha (VERISSIMO; CESAR JÚNIOR, 1998).

2.8.1.3 Deslizamento da armadura de protensão no sistema de ancoragem

Essa perda de protensão ocorre durante o processo de cravação da cunha na porta cunha de ancoragem. O cabo é estirado com a ajuda do cilindro hidráulico,

e ao soltar o mesmo, tende a voltar ao seu estado inicial, mas é travado pelo conjunto, mantendo a peça protendida. Existe um deslizamento da cordoalha no sistema de ancoragem que varia de cada sistema e fabricante, esse deslizamento pode variar de 5 a 12mm, o que é muito importante ser levado em consideração aos cálculos (TAVARES, 2020).

2.8.2 Perdas progressivas

Perdas progressivas são aquelas que acontecem ao longo do tempo, elas acontecem de forma lenta ao longo da vida útil da peça protendida. Essas perdas são adicionais às perdas imediatas que ocorrem instantaneamente após a protensão. As perdas progressivas acontecem por dois fatores, são eles: relaxação da armadura e fluência do concreto (DUTRA, 2017).

2.8.2.1 Relaxação da armadura

A relaxação do aço é um fenômeno relacionado aos materiais metálicos, incluindo cabos de protensão como cordoalhas, a relaxação ocorre quando o aço é submetido a uma tensão inicial e ao longo do tempo há uma diminuição gradual dessa tensão. Pode ocorrer de a carga manter-se constante e ainda sim ocorrer a relaxação, esse fenômeno ocorre devido às ligações atômicas dentro do material (SILVA; SOUZA, 2004).

2.8.2.2 Fluência do concreto

O concreto exhibe fluência, a deformação continua com o passar do tempo sob esforços constantes, isso leva a uma diminuição adicional da tensão dos cabos. Tem-se a fluência primária que se refere à deformação imediata ao acréscimo de carga e a fluência secundária que refere ao longo período, deformações sofridas sob cargas constantes (MARQUES, 2011).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, constatou-se a necessidade de estudos de reforço de pontes, devido ao crescimento do fluxo de transporte e ao aumento de carga permitido nas vias, gerando uma sobrecarga nas estruturas, levando à necessidade de medidas de reforço. Além das patologias acometidas nessas estruturas, algumas por erro de execução, outras por falta de inspeção e manutenção, fazendo com que muitas estruturas se tornassem condenadas.

A técnica de protensão externa como reforço estrutural em pontes traz como vantagens: a não necessidade de interditar o trânsito, além de aumentar a capacidade estrutural da ponte, uma vez que o método ajuda no tratamento de patologias como fechamento das fissuras, menor carga de concreto acrescido à estrutura existente, e conta com facilidade para execução em grandes alturas pois conta com equipamentos mais leves do que os utilizados em outras técnicas de reforço.

Assim, a protensão externa como método de reforço estrutural em pontes é válido baseando-se na descrição da técnica e pelos benefícios práticos que foram discutidos ao longo desta pesquisa, pois essa abordagem não é apenas eficaz, mas também traz melhorias na durabilidade e capacidade de carga.

Que esta pesquisa contribua com conhecimentos relacionados ao método de reforço de pontes em concreto armado e protendido por protensão externa e sirva de base para próximos trabalhos relacionados a reforços de ponte, considerando a crescente necessidade de aplicações de intervenções nessas estruturas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. G. M. **Reforço de vigas de concreto armado por meio de cabos externos protendidos**. Orientador: João Bento de Hanai. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BASSO, F. **Estudo de pontes com vigas I segmentadas pré-fabricadas de concreto protendido, utilizando o sistema de pré-tração e pós-tração**. Orientador: Dr. Roberto Chust Carvalho. 180 f. Dissertação (Pós graduação em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2018.

BASTOS, P. S. **Concreto protendido**. Bauru: Unesp, 2018. 100 f.

BASTOS, P. S. **Fundamentos do concreto protendido**. Bauru/SP: Universidade Estadual Paulista–UNESP. 265 f. 2019.

CAMARGO, R. G. **Estudo de patologia em concreto armado e proposta de soluções: análise de caixa de areia no sistema de tratamento de efluentes em uma cooperativa de laticínios**. Orientadora: Dr.^a Denyse Meirelles Nociti. 73 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2017.

CARDOSO, M. A. N. **Metodologia de avaliação da segurança estrutural de pontes de concreto armado**. Orientador: Diôgo Silva de Oliveira. 384 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

DUTRA, Z. C. **Determinação das perdas em concreto protendido**. Orientadora: Dr.^a Fernanda Rodrigues. 81 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FREITAS, M. P.; VASCONCELLOS, R. M.; MOURA, M. W. **Análise das perdas de protensão em vigas de concreto protendido pós-tracionadas**. 10 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Oceânica) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande, 2018.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 248 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia e Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

BRITO JÚNIOR, J. F. **Reforço estrutural de pontes rodoviárias em concreto armado com duas longarinas utilizando protensão externa**. Orientador: Dr. Arquimedes Díogenes Ciloni. 98 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

LARANJEIRA, A. V. S. **Análise da ruptura de cabos de protensão em vigas mistas de aço e concreto protendidas**. Orientador: Luciano Mendes Bezerra. 131 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Faculdade de Brasília – Brasília, 2019.

LIMA, J. S. A. **Concreto Protendido**. Orientador: Evandro Porto Duarte. 130 f. Dissertação (Tese de Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

LOURENÇO, L. C.; ALVES, V. R.; JORDY, J. C.; MENDES, L. C.; LOURENÇO, M. V. C. **Parâmetros de avaliação de patologias em obras-de-arte especiais**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MARIANO, J. R. **Recuperação estrutural com ênfase no método da protensão externa**. Orientador: Adriano de Paula e Silva. 50 f. Dissertação (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2015.

MARINHO, V. S. **Diferenças na aplicação de concretos armados e protendidos na construção de Pontes**. Orientadora: Camila Cedraz Prinz. 17 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, 2022.

MARQUES, A. C. **Concreto auto-adensável: caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência**. Orientador: Dr. Túlio Nogueira Bittencourt. 176 f. Dissertação (Tese de Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MORAIS, J. M. P.; SILVA, A. M.; BARBOZA, E. N.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, B. B. Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e759974964-e759974964, 2020.

NOVAES, I. M.; POZNYAKOV, K. Patologias em Estruturas de Concreto Armado. **Revista Boletim do Gerenciamento**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. v. 22, n. 22, p. 67-78, 2021.

OLIVEIRA, C. B. L. **Análise da eficácia de métodos de reforço de pontes rodoviárias de concreto armado**. Orientador: Dr. José Márcio Fonseca Calixto. 215 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Departamento em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PINHEIRO, M. R. de A.; SILVA, E. I.; FLORENCIO, L. A. Considerações a respeito das principais manifestações patológicas em pontes de concreto armado na cidade de Recife. **3º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (3º SPPC)**, artigo 3SPPC1020, p. 220-232, 2018.

SILVA, I. M.; SOUZA, T. Sistematização do cálculo de perdas progressivas de protensão. **Revista Ceciliana**, Edith Silvana Amaury; ISHITANI, Hideki. n. 21, p. 117-130, 2004.

SOUZA, M. I.; MURTA, M. M. **Patologias, recuperação e reforço estrutural em concreto armado**. Orientador: Kleber A. Gonçalves. 51 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento em Engenharia Civil, Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2012.

SOUZA, P. S.; SANTOS, O. Patologias em Estruturas de Concreto Armado. **Revista Boletim do Gerenciamento**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 24, p. 1-11, 2021.

TAVARES, M. G. **Simulação da perda de protensão aderente em elementos de concreto**. Orientador: Dr. Rogério Carrazedo. 135 f. (Tese de Doutorado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

TEJEDOR, C. M. **Patologias, recuperação e reforço com protensão externa em estruturas de pontes**. Orientador: Ricardo Valeriano Alves. 139 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

VERÍSSIMO, G. S.; CESAR JÚNIOR, K. M. L. C. **Concreto Protendido: Fundamentos Básicos**. 78 f. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. Orientador: João Henrique da Silva Rêgo. 198 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

VITÓRIO, J. A. P.; BARROS, R. M. M. C. **Reforço e Alargamento de Pontes Rodoviárias com a Utilização de Protensão Externa**. In: Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Fortaleza, 2011.