



FUNDAMENTOS DO CONCRETO PROTENDIDO

André de Araújo Vieira¹
Ademir Santos²
Daniel de Souza Machado³

RESUMO: *Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a protensão como método utilizado na construção civil. Da pesquisa bibliográfica, foi retirada parte da informação contida neste material. A metodologia utilizada foi a leitura de materiais referentes à protensão, os quais serviram de base para o discorrimento de temas referentes ao concreto protendido. São abordados os conceitos básicos de protensão bem como suas formas de atuação.*

Palavras-chave: Concreto protendido; Protensão; Pontes.

INTRODUÇÃO

Com o surgimento de concretos de altas resistências, evidencia-se a construção utilizando peças mais esbeltas com a utilização de seções com áreas menores com redução da taxa de armadura, conseguindo assim estruturas mais econômicas e com maior aproveitamento do espaço útil. Paralelamente, com o desenvolvimento da informática surgiram os programas de computadores permitindo calcular estruturas com maior rapidez e precisão, além do uso de métodos de cálculo complexos os quais seriam praticamente impossíveis de se resolver manualmente. Com estes dois exemplos evidenciamos a evolução tecnológica dos materiais de construção e do cálculo estrutural neste período. Além da economia do material utilizado, a protensão permite a redução de incidência de fissuras, melhor proteção da armadura (reduz a tensões de tração), melhor resistência aos esforços tangenciais, união de elementos para compor estruturas monolíticas, como é o caso dos balanços sucessivos em pontes, utilização plena do concreto na seção resistente, e, em consequência, vencer vãos maiores. Neste trabalho pretende-se apresentar revisão bibliográfica do uso da protensão, utilizada principalmente em estrutura de pontes. Este trabalho também servirá como base para o Trabalho de Conclusão de Curso que está sendo desenvolvido pelo autor no mesmo tema intitulado “Perdas de Protensão em Vãos Isostáticos em Balanços Sucessivos”.

CONCEITOS BÁSICOS

A protensão é um recurso que é utilizado há muito tempo, sem de fato ter sido chamado como conhecemos atualmente. Alguns exemplos clássicos de protensão podem ser encontrados em diversas bibliografias, entre elas, a de Hannai (2005, p.1) no seu trabalho sobre concreto protendido na Universidade de São Carlos. A tentativa de levantar certa quantidade de livros

¹ Estudante do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia – UFBA. Autor.

² Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia – UFBA. Orientador.

³ Co-Orientador.



apenas comprimindo-os pelos lados apresenta de forma simples o conceito de protensão “Figura 1”.

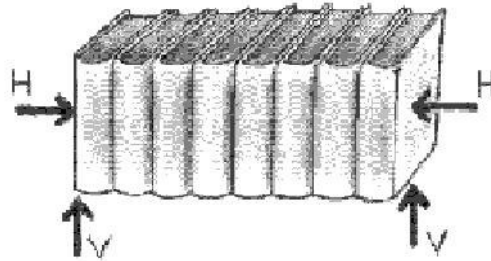


Figura 1 – Compressão H aplicada na pilha de livros representando a protensão que impede que os livros caiam (HANNAI 2005, p.1).

Outro exemplo clássico é a utilização de barris, os quais são usados no armazenamento de bebidas. Estes possuem tiras de madeira envolvidas por anéis metálicos, tratados termicamente, desempenhando a função de protensão circular, que impedem a abertura das tiras de madeira “Figura 2”. Detalhes sobre tipos de protensão serão exemplificados no decorrer do trabalho.

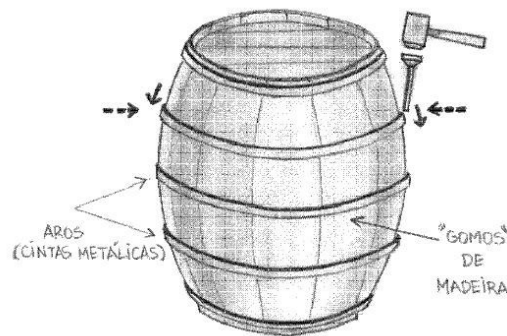


Figura 2 – Protensão circular utilizada em barris de armazenamento de bebidas (HANNAI 2005, p.1).

Segundo Pfiel (1991, p.1), a protensão é um artifício que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões capaz de melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob diversas condições de carga. Funciona como adicionar uma força externa que proporcione um estado de tensões que diminua o efeito das tensões provocadas pelas solicitações, desta forma pode-se utilizar a protensão em peças de concreto que se deseje submeter a grandes esforços, já que estes serão absorvidos em parte pela protensão.



Atualmente a protensão vem sendo utilizada em diversos setores da construção civil, associada ao concreto, formando o que chamamos de concreto protendido. Aço, de resistências elevadas e, de fato, maiores que as utilizadas no concreto armado, são esticados por macacos hidráulicos, e posteriormente ancorados na peça em utilização, "Figura 3". A liberação do esticamento da armadura e sua posterior fixação no concreto, provoca uma compressão no concreto, efetivando a protensão. A protensão melhorará o comportamento da peça, reduzindo deslocamentos e controlando a fissuração. Vale ressaltar que tem de haver um controle maior na execução das peças de concreto protendido, no que diz respeito ao cobrimento, já que o aço trabalha sob tensões mais elevadas e é mais sensível à corrosão.

A "Figura 3" mostra um sistema de protensão, composto por cordoalhas, envoltas por uma bainha circular (para o caso de lajes pode ser achatada), tensionadas por um macaco hidráulico (equipamento utilizado para tensionar o cabo).

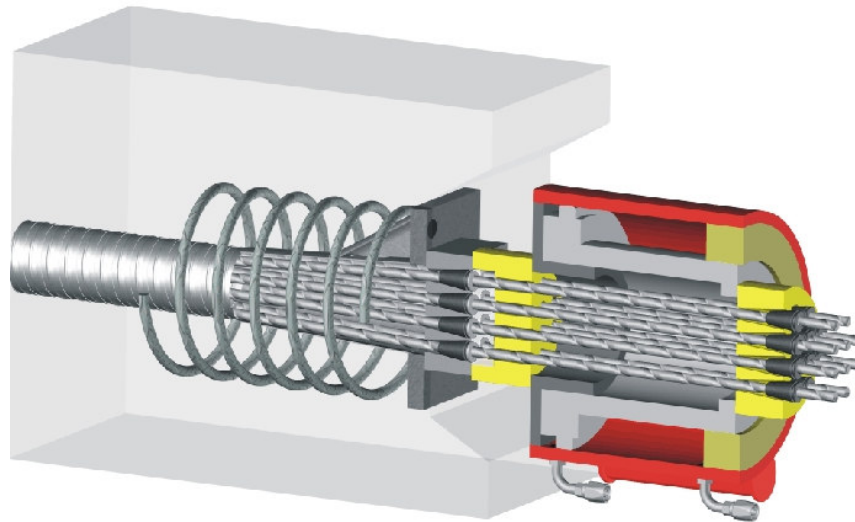


Figura 3 – Sistema de protensão numa viga de concreto, onde bainhas envolvem as cordoalhas presas em um macaco hidráulico.

As cordoalhas se apresentam como um conjunto de fios entrelaçados helicoidalmente, podendo ou não estar envolvido por um duto conhecido como bainha "Figura 4".



Figura 4 – Bainhas circulares de diferentes diâmetros.

Leonhardt (1967, p.IX) faz recomendações para o uso adequado do concreto protendido.

Para o projeto:

- Protender equivale a comprimir o concreto. A protensão se faz somente se for possível o encurtamento. Cuide para que a estrutura possa se encurtar na direção da protensão.
- Cada mudança de direção dá lugar a forças transversais ao protender; cada mudança de direção na diretriz ocasiona tensões transversais de compressão ou tração. Leve bem em consideração estes efeitos na hora de calcular e dimensionar.
- Não tente esgotar a todo custo as elevadas compressões admissíveis. Adote uma seção de dimensões tais que permita, em especial junto aos cabos, um adequado lançamento do concreto, concreto este vibrado para consistência seca que exige a técnica da protensão.
- Evite as trações sob peso próprio e desconfie da resistência à tração do concreto.
- Disponha de armaduras passivas, de preferência transversalmente à direção da protensão e em especial nas ancoragens dos cabos.

Para a construção:

- O aço de protensão é de maior resistência que os da armadura passiva, e é sensível à oxidação, entalhes, dobramentos em ângulos e calor. Trate-o com todo cuidado.
- Coloque os cabos em sua posição exata, fazendo-os estanques e indeslocáveis; caso contrário, terá problemas com o atrito.
- Planeje o programa de concretagem de modo que se possam vibrar bem todas as partes e, que as deformações do escoramento não ocasionem fissuras no concreto jovem. Concrete com o máximo cuidado, pois as graves conseqüências dos defeitos que se cometem aparecerão ao protender.
- Antes de tensionar as armaduras de protensão, comprove a mobilidade da estrutura para se encurtar na direção da protensão.
- Em elementos estruturais longos, introduza uma primeira protensão a poucos dias da concretagem, com a finalidade de evitar, com uma compressão moderada, a formação de fissuras de retração ou de origem térmica.



- Não introduza a totalidade da protensão até que o concreto apresente suficiente resistência. Geralmente é ao protender, que o concreto deve suportar as maiores solicitações.
- Ao protender, controle continuamente o alongamento e a pressão no macaco hidráulico. Registre no boletim correspondente os valores alcançados e as observações sobre a seqüência da operação (Boletim de protensão).
- Antes de proceder a injeção nas bainhas, comprove que não estão presas em nenhum ponto. Observe com todo rigor as normas sobre injeção.

TIPOS DE PROTENSÃO

Segundo a época da aplicação

Pré-tração

Dizer que uma peça de concreto é pré-tracionada significa dizer que a sua armadura ativa sofre o tensionamento antes que a peça seja concretada. As peças de concreto protendido pré-tracionadas são pré-moldadas. O aço é protendido numa pista de protensão, onde é fixado nas duas extremidades, uma destas que contém macacos de protensão, que empurra a extremidade onde o cabo está preso de modo a esticá-lo. Enquanto o aço está esticado, a peça é concretada, e após a cura, o cabo que antes estava ancorado no sistema de protensão, será cortado e ancorado na própria peça. A "Figura 5" ilustra uma bancada de aplicação da pré-tração, Hannai (2005, p.8).

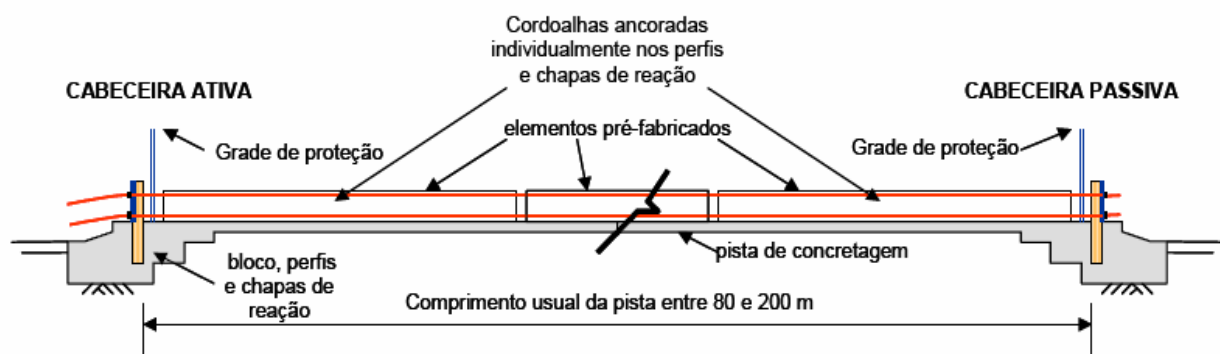


Figura 5 – Bancada de aplicação da pré-tração.

A configuração dos cabos neste tipo de protensão é retilínea. O processo da pré-tração não permite uma configuração de forma parabólica, já que a armadura é esticada previamente à concretagem. O máximo que se pode modificar no curso dos cabos é colocar desviadores, o que gerará perdas de tensão localizadas nestes pontos. As perdas de protensão serão abordadas no trabalho de conclusão de curso do autor deste trabalho.



Na pré-tração podem ser executadas várias peças de uma vez, os cabos não sofrem com determinados tipos de perdas, a aderência do cabo com o concreto é de grande valor, são peças de melhor qualidade de execução, já que são pré-moldadas, porém tem que ser dimensionadas para as etapas de transporte, içamento, execução e utilização. A “Figura 6” ilustra um exemplo de configuração poligonal executada com desviadores.



Figura 6 – Desviadores para permitir mudança de direção dos cabos utilizados na pré-tração para configuração poligonal.

Pós-tração

Dizer que uma peça é pós-tracionada significa que sua armadura ativa foi tensionada depois da concretagem. É um método prático, pois pode ser executado no local, pode-se dar ao cabo a configuração que se deseja, o que faz deste método o mais adequado para estruturas hiperestáticas, onde se tem a inversão de momento, já que o cabo é posicionado nas regiões de tração da peça. Neste método, é colocada na peça de concreto, antes da concretagem, uma bainha por onde as cordoalhas ou fios serão enfiados. A peça é então concretada, e após adquirir resistência suficiente o aço é esticado através do macaco hidráulico, que executa a protensão no local. Após o alongamento da armadura, a bainha recebe uma injeção, que pode ser de calda de cimento ou de graxa, de acordo com a especificação do projeto. Por permitir um traçado parabólico, a protensão sofre com a perda de tensão por atrito, que tem de ser levada em consideração. Além da perda devido ao traçado, deve ser considerada nos cálculos, também, as perdas por desvios construtivos. A “Figura 7” ilustra um traçado parabólico, e a atuação do atrito devido ao traçado e aos desvios construtivos.

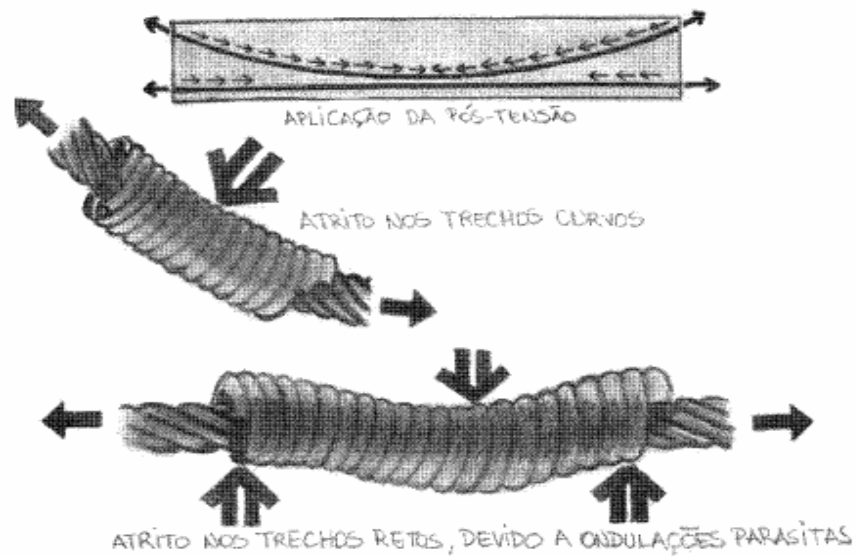


Figura 7 – Traçado parabólico e atuação do atrito na peça (HANNAI 2005, p.40).

Segundo a posição da aplicação

Protensão interna e externa

A mais comumente utilizada é a protensão interna, em que o cabo de protensão segue todo o seu percurso por dentro da peça de concreto, já a protensão externa é mais utilizada em reforços de vigas. A “Figura 8” lustra a protensão externa, (HANNAI ,2005, p.10).

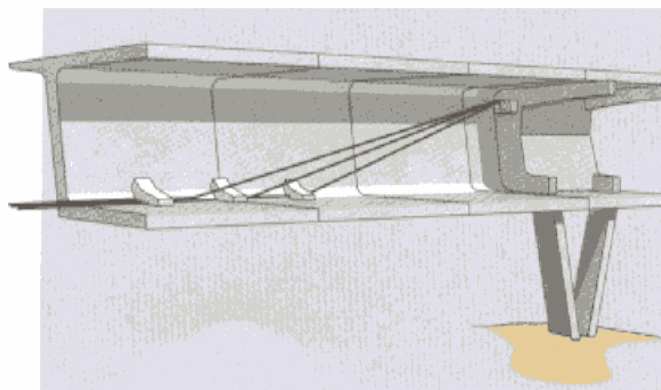


Figura 8 – Protensão externa numa viga caixão de ponte.



Segundo o tipo de ancoragem

Ancoragem ativa e passiva

A ancoragem do cabo pode ser de dois tipos, ativa ou passiva. A ancoragem ativa é aquela em que a armadura sofre a protensão e é ancorada na peça de concreto após, e ancoragem passiva é aquela que já está ancorada no concreto sem receber uma tensão direta, funcionando apenas como ponto de apoio para a armadura. Uma peça de concreto protendido pode ter uma ancoragem ativa de cada lado ou uma ancoragem ativa de um lado e uma passiva do outro lado. A “Figura 9” ilustra a ancoragem ativa e passiva.

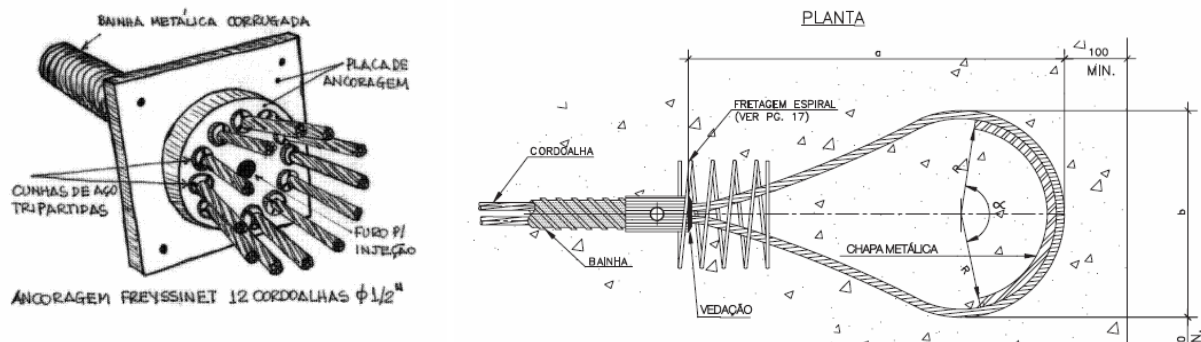


Figura 9 – (a) Ancoragem ativa (HANNAI 2005, p.9). e (b) ancoragem passiva (CATÁLOGO MACPROTENSÃO, p10).

Segundo a existência ou não de aderência

Protensão aderente e não aderente

Na protensão aderente, os cabos, quando tensionados e ancorados na peça, recebem uma injeção de calda de cimento. Segundo Pfiel (1991, p.141), a principal finalidade da nata é proteger os cabos contra corrosão. Ainda na mesma página diz que quando se utilizam bainhas metálicas, de preferência onduladas, a injeção de nata de cimento serve ainda para estabelecer aderência entre o cabo e a peça de concreto, e que para atender a essas finalidades, é necessário que a nata preencha efetivamente as bainhas, sem bolsas de ar ou água de segregação.

Quando não se utiliza a aderência na protensão diz-se que é uma protensão não aderente. Nos cabos são injetados, ao invés de calda de cimento, graxa, que serve para proteção da armadura contra corrosão, e faz com que não haja perdas de tensão por atrito. Têm, atualmente, se utilizado muito a cordoalha mono engraxada em lajes, por exemplo, por até ser um sistema de fácil execução, pois a injeção da graxa é de simples execução e a protensão no local exige uma aparelhagem mais simples. Segundo Pfiel (1991, p.143) pode-se usar a protensão não aderente externa com diversas aplicações, dentre elas:



- Reforço de estruturas de concreto armado, concreto protendido ou de aço;
- Projeto de obras, como reservatórios, em que a aderência não é necessária para se desenvolver a resistência à ruptura dos cabos;
- Obras formadas por ocasião de peças pré-moldadas, nas quais o emprego de cabos externos conduz a simplificações construtivas, com ganho de velocidade.

Segundo a forma da protensão

Protensão linear e circular

A protensão linear é a mais usual, e como o próprio nome diz, segue uma linha, que pode ser a extensão de uma viga ou uma laje. Pode ser executada na forma linear, poligonal (pré-tracionadas), ou parabólicas (pós-tracionadas).

A protensão circular é utilizada, em grande parte, em reservatórios, mas tem outras formas de utilização também, como um exemplo simples, tem-se o barril de armazenamento citado no início deste trabalho. Por ser circular, este tipo de protensão sofre bastante com a ação do atrito. A “Figura 9” ilustra uma utilização de protensão circular.

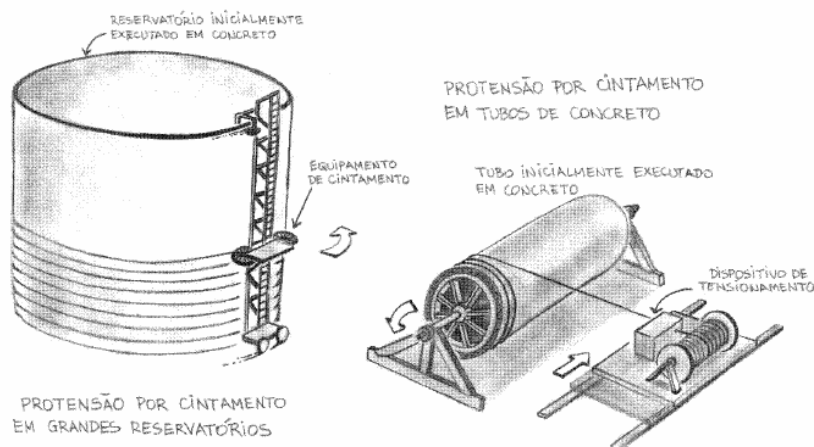


Figura 10 – Protensão circular (HANNAI 2005, p.5).



Segundo o instante da concretagem;

Peças moldadas no local e pré-moldadas

A peça de concreto pode ser moldada no local ou não, a influência que isto vai ter na protensão é a consideração ou não das etapas de transporte e içamento, além de que as peças pré-moldadas passam por um controle mais rigoroso na sua execução. As peças pré-moldadas são geralmente pré-tracionadas, e as moldadas no local são pós-tracionadas.

COMENTÁRIOS GERAIS

O concreto protendido é uma poderosa técnica para a execução de projetos, cada vez mais ousados, que almejam grandes proporções. Para começar a entender o concreto protendido e suas peculiaridades, é necessária a obtenção de conhecimentos básicos, introdutórios, que possibilitem estudos mais aprofundados no futuro, ou até projetos ambiciosos.

Agradeço aqueles que me possibilitaram a criação deste trabalho e me ajudam na execução da minha monografia, a equipe da JMB, que com muita paciência me ensina os caminhos de um verdadeiro engenheiro, são eles os engenheiros Ademir Santos, Marília Bruno, Daniel Machado, Marcos Oliveira, Sheila Fetal e o colega Rodrigo Sampaio. Agradeço também a professora Tatiana Dumêt, que me mostrou o caminho do concreto armado e protendido, como também aos colegas de curso que sempre me apoiaram e ajudaram desde o início.

REFERÊNCIAS

HANNAL, J.B. **Fundamentos do concreto Protendido**. – São Carlos: Editora da EESC, 2005.

PFIEL, W. **Concreto Protendido**. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica LTDA, 1991.