

MEDIDA “IN LOCO” DAS PERDAS INICIAIS DE PROTENSÃO DE CORDOALHAS ENGRAXADAS EM LAJES PLANAS

EQUIPE

Sandro J. Soares - Engenheiro, Paranasa Engenharia e Comércio S. A. - email:sandro@paranasa.com.br

José M. Calixto - Professor Associado, Departamento de Estruturas – UFMG – email:calixto@dees.ufmg.br

Hélio Chumbinho - Diretor Técnico, Misa Engenharia de Estruturas Ltda – email:misa@misaengenharia.com.br

Av. Contorno 842 – 30110 -060 – Belo Horizonte – Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de um estudo das perdas iniciais de protensão, medidas “in loco”, de cordoalhas engraxadas em lajes planas. Essas lajes planas fazem parte de um edifício em Belo Horizonte de 16 pavimentos com uma área de 350 m² por andar. As forças de protensão nas cordoalhas engraxadas foram medidas por células de carga colocadas nas proximidades da ancoragem ativa e da ancoragem passiva. Em função da metodologia construtiva do edifício, as medidas de forças foram feitas desde o instante da protensão até idades entre 7 e 28 dias após esta data. Nas perdas pela acomodação da ancoragem os valores medidos foram bastante similares e em termos médios, a perda imediata correspondeu a 5,17% da força inicial de protensão. A análise dos resultados indica que o retorno médio do cabo, devido à cravação das cunhas, é igual 3,2 mm, significativamente menor que 7 mm prescrito pelo fabricante da cordoalha. Os valores de força medidos mostram também que a força remanescente na cordoalha próximo à ancoragem passiva, até 14 dias após a cravação das cunhas, é maior em relação à força na ancoragem ativa.

Palavras-chave: lajes planas, cordoalhas engraxadas, perdas iniciais de protensão

ABSTRACT

This paper presents the results of “in situ” measurements of stress losses in unbonded tendons of post tensioned flat slabs. Load cells, located in the vicinity of the active and the passive anchorages, are employed to measure the forces in the tendons. The forces in the tendons were monitored from the time of their straining up to 28 days afterwards. The stress loss due to the anchorage of the tendons was of 5.17% of the initial stress. This value corresponds to an average tendon return of 3.2 mm, lower than 7 mm prescribed by the manufacturer. The preliminary results indicate also that the remaining force near the passive anchorage is larger in relation to the value measured in the vicinity of the active one.

Keywords: post-tensioning flat slabs, unbonded tendons, initial stress losses

INTRODUÇÃO

Edifícios de lajes lisas protendidas com cordoalhas não aderentes são projetados e construídos nos Estados Unidos desde a década de 1950. Inicialmente, os cabos eram engraxados e envoltos em papel. Posteriormente desenvolveu-se uma proteção anticorrosiva formada por um tubo de polietileno de alta densidade associada a uma graxa especial que envolve a cordoalha (cordoalha engraxada e plastificada). No Brasil, segundo Loureiro [1], a técnica de protensão com cordoalhas engraxadas foi iniciada em 1997, com a fabricação destas pela Belgo Bekaert Arames S. A. Desde então, esta nova tecnologia vem tendo grande utilização. A introdução deste sistema de protensão leve tira partido principalmente do uso de lajes lisas sem vigas, ou pelo menos, com o mínimo de utilização das mesmas. Esta forma de projetar tem como objetivo simplificar de sobremaneira a execução das fôrmas da estrutura, resultando em economia de consumo de material e de mão de obra na construção.

As cordoalhas engraxadas são comumente utilizadas com a metodologia de pós-tração como a adotada neste estudo. A seqüência de construção em pós-tração é iniciada pela montagem das fôrmas e pelo posicionamento das barras da armadura frouxa positiva; em seguida são lançadas as cordoalhas engraxadas e colocadas as barras da armadura frouxa negativa, todas amarradas na posição especificada no projeto, conforme mostra a figura 1. O concreto é então lançado na fôrma envolvendo toda cordoalha e barras de armadura. Depois que o concreto atingir uma resistência suficiente, definida pelo projeto estrutural, a cordoalha é tracionada por um atuador hidráulico. Assim, a força de protensão é então transferida para o concreto através

dos dispositivos de ancoragem nas extremidades do elemento estrutural.



Figura 1 - Barras de aço e cordoalhas posicionadas na forma

As cordoalhas engraxadas sofrem perdas de força de protensão imediatas e progressivas. As perdas imediatas são devidas ao encurtamento imediato do concreto, ao atrito entre as cordoalhas e a bainha, ao deslizamento da armadura junto à ancoragem e à acomodação dos dispositivos de ancoragem. As perdas progressivas são decorrentes da retração e fluência do concreto e da relaxação do aço de protensão. Segundo Loureiro [1], o percentual total de perdas corresponde a 20% da força inicial de protensão sendo, 10% para as perdas imediatas e 10% para as perdas progressivas. O projeto deve prever essas perdas de força de protensão. Porém raramente elas são realmente medidas no campo.

Dentro deste cenário, o objetivo principal deste artigo é apresentar os resultados de um estudo, realizado por Soares [2], sobre as perdas iniciais de força de protensão, medidas “in loco”, de cordoalhas engraxadas em lajes lisas protendidas de um edifício em construção na região metropolitana de Belo Horizonte. Medidas de forças em cordoalhas, nas proximidades da ancoragem ativa e da passiva, foram e estão sendo feitas desde o instante da protensão até idades de 28 dias após esta data.

CARACTERÍSTICAS DAS LAJES ENSAIADAS

Para a avaliação das perdas de tensão nas cordoalhas, foi escolhido um edifício para fins hoteleiros, localizado na cidade de Belo Horizonte. A edificação é composta de 16 pavimentos, sendo o primeiro pavimento de recepção, do segundo ao quarto (3 andares) pavimentos de garagem; do quinto ao décimo quinto

(11 andares), pavimentos tipo tendo cada um 22 apartamentos. Nesta edificação não há uma predominância de pilares de grandes dimensões e as lajes lisas possuem 17 cm de espessura.

O concreto especificado tinha uma resistência característica à compressão f_{ck} aos 28 dias igual a 30 MPa. Na sua fabricação foi utilizado cimento CP V ARI Plus num teor de 356 kg/m³. A relação água/cimento foi igual a 0,55. Os resultados de resistência à compressão do concreto mostraram que a resistência característica à compressão aos 7 dias era bastante próxima do valor procurado e que esta idade também atendia bem o cronograma de obra. Portanto, a idade escolhida para protensão das cordoalhas foi de 7 dias após a execução do concreto.

As cordoalhas engraxadas utilizadas, fabricadas pela Belgo Bekaert Arames S. A., têm diâmetro nominal igual a 12,7 mm. O aço empregado na sua fabricação é o CP 190. A relação tensão-deformação foi determinada em laboratório sendo a carga média a 1% de alongamento igual a 181 KN e o módulo de elasticidade médio igual a 204 GPa.

Medidas de força foram realizadas numa mesma cordoalha (cabo 2A) de diversas lajes do pavimento tipo da edificação em estudo. Para isto nichos, com dimensões em planta de 30 x 100 cm, foram deixados nas diversas lajes para instalação dos equipamentos de medição. Estes nichos eram localizados nas proximidades da ancoragem ativa e da ancoragem passiva conforme ilustra a figura 2.

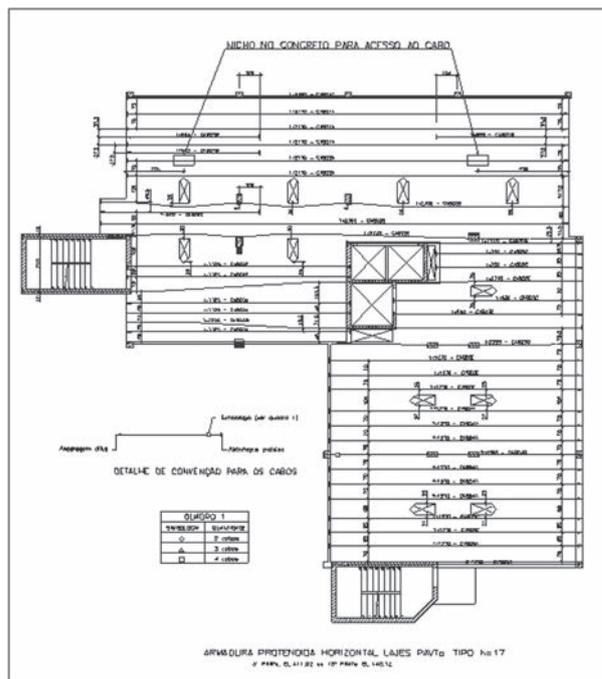


Figura 2 - Planta de distribuição de cabos

EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

Para medida das forças nas cordoalhas engraxadas utilizou-se uma célula de carga com indicador, fabricada pela ALFA Instrumentos. A escolha desta célula deve-se a dois fatores. O primeiro é a facilidade de instalação da célula na cordoalha; o segundo é a leitura direta da força no cabo. Estas células têm sido muito utilizadas em medidas de forças em cabos de elevadores e de estaiamento bem como em balanças de cargas elevadas. A figura 3 ilustra respectivamente a célula posicionada na cordoalha dentro do nicho e os indicadores de força.

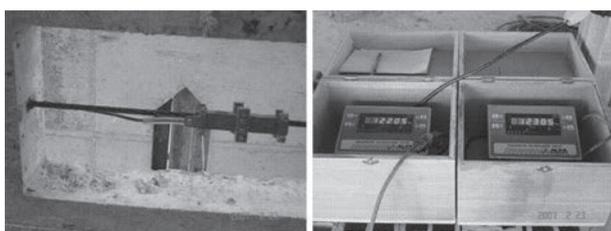


Figura 3 - Detalhe da célula instalada na cordoalha e dos indicadores de carga

Após a fixação das células de carga em uma mesma cordoalha, uma próxima à extremidade da ancoragem ativa e outra próxima à ancoragem passiva, procedia-se a sua a calibração com a aplicação de uma força, inferior à de protensão, pelo macaco hidráulico. Em seguida tracionava-se a cordoalha com a força inicial de protensão e iniciavam-se os procedimentos de leitura nas diversas etapas. As medidas de força foram realizadas desde o instante de protensão até a idade de 28 dias.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os resultados das forças medidas na cordoalha, nas proximidades da ancoragem ativa, no instante de aplicação da força de protensão e logo após a cravação das cunhas. A diferença entre essas forças representa a perda imediata de força por deslizamento da cordoalha na ancoragem e por acomodação da ancoragem. A tabela apresenta também o percentual desta perda de força bem como o comprimento de retorno do cabo. Este comprimento de retorno foi calculado com base num comprimento inicial da cordoalha de 21,70 metros.

Tabela 1 - Perdas imediatas de força nas cordoalhas por acomodação das ancoragens

Pavimento	Força Inicial de Protensão (kN)	Força Pós Cravação da Cunha (kN)	Perda de Força (kN)	Percentual de Perda de Força (%)	Retorno do cabo (mm)
10	136,20	128,40	7,80	5,73%	3,70
11	143,85	135,90	7,95	5,53%	3,33
12	143,75	135,00	8,75	6,09%	2,93
13	141,55	137,50	4,05	2,86%	1,59
14	137,20	129,60	7,60	5,54%	3,62
15	138,75	131,40	7,35	5,30%	4,10
Valor médio	140,20	132,95	7,25	5,17%	3,21

A análise dos resultados revela primeiramente valores similares para a perda imediata de força. Em apenas um caso (pavimento 13) o valor medido foi significativamente menor. Em termos médios, a perda imediata de força na cordoalha correspondeu a 5,17 % da força inicial de protensão. Este valor corresponde ao normalmente prescrito na literatura para esta perda (Lyn e Burns [3]). O retorno do cabo devido à perda imediata apresentou um valor médio de aproximadamente 3,21 mm é significativamente menor que 7 mm prescrito pelo fabricante da cordoalha (Cauduro [4]).

Um estudo comparativo da perda de força média na cordoalha, nas proximidades da ancoragem ativa e da passiva, após a cravação das cunhas para as diversas lajes analisadas pode ser visto na figura 4. A análise da figura revela maiores valores de força nas proximidades da ancoragem passiva.

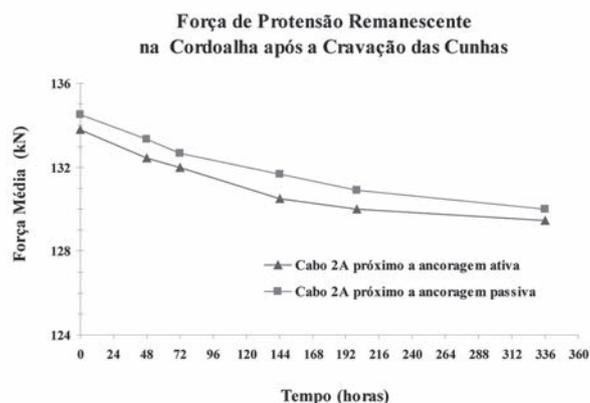


Figura 4 - Força de protensão na cordoalha após a cravação das cunhas

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste artigo foi apresentar os resultados de um estudo sobre as perdas iniciais da força de protensão, medidas “in loco”, de cordoalhas engraxadas em lajes lisas protendidas de um edifício em construção na região metropolitana de Belo Horizonte. Medidas de forças em cordoalhas, nas proximidades da ancoragem ativa e da passiva, foram feitas desde o instante da protensão. Os resultados indicam primeiramente que o retorno médio do cabo, devido à cravação das cunhas, é igual 3,2 mm, significativamente menor que 7 mm prescrito pelo fabricante da cordoalha valor ligeiramente menor que 7 mm prescrito pelo fabricante da cordoalha. Os valores de força medidos mostram também que a força remanescente na cordoalha próximo à ancoragem passiva, até 14 dias após a cravação das cunhas, é maior em relação à força na ancoragem ativa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à IMPACTO PROTENSÃO, à BELGO BEKAERT S. A. e à PARANASA S. A.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LOUREIRO, G. J., Projeto de Lajes Protendidas com Cordoalhas Engraxadas, *Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto*, São Paulo, 2006.

SOARES, S. J. Avaliação in Loco das Perdas de Carga de Cordoalhas Engraxadas em Lajes Lisas, *Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Materiais e da Construção Civil*, UFMG, Belo Horizonte, 2007

LYN, T. Y. e BURNS, N., Design of Prestressed Concrete Structures, New York, John Wiley & Sons, 1981.

CAUDURO, E. L., Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas, São Paulo, 2002.