

AVALIAÇÃO DE PERDAS PROGRESSIVAS DE PROTENSÃO EM LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS

Lucas M. Oliveira¹, Daniel L. Araújo²

1. Estudante de Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO
2. Professor da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

Resumo:

As lajes alveolares protendidas são um dos elementos mais utilizados nas estruturas pré-moldadas. Contudo, devido à sua elevada esbelteza, proporcionada pela protensão, ela sofre influência das deformações progressivas do concreto que afetam as suas perdas de protensão. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar as deformações progressivas devido à fluência e à retração no concreto utilizado na confecção de lajes alveolares pelo processo de fôrma deslizante. Além disso, procura avaliar o comprimento de transferência da protensão nas lajes alveolares reforçadas com cordoalhas de 9,5 mm de diâmetro. Os resultados mostraram que o comprimento de transferência é bem avaliado pela expressão da NBR 6118. Já a deformação por fluência obtida foi pouco inferior ao valor estimado pela NBR 6118. Quanto à retração, observou-se influência do procedimento de ensaio no valor final, sendo que os corpos de prova curados ao ambiente apresentam deformação por retração mais próxima do valor estimado pela NBR 6118.

Autorização legal: Não se aplica.

Palavras-chave: Lajes Alveolares Protendidas; Comprimento de ancoragem; Propriedades reológicas

Apoio financeiro: CNPq – Edital Universal 14/2004 e Empresa MOLD – Estruturas Pré-fabricadas.

Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição: UFG

Introdução:

A Construção Civil, quando comparada a outros setores produtivos, está relativamente atrasada, apresentando muitas vezes desperdício de materiais, baixo controle de qualidade e produção, além de condições de trabalho ruins, o que resulta em baixa produtividade. Porém, nos últimos anos este quadro vem mudando, seja pela introdução de novos equipamentos ou pela utilização de processos produtivos padronizados. Um dos produtos decorrente dessa mudança são as estruturas pré-fabricadas. Elas proporcionam um grande aumento da qualidade nos canteiros de obras, uma vez que são produzidas por meio de componentes industrializados de alto controle, usando materiais de boa qualidade, o que resulta em obras mais organizadas. Um elemento pré-moldado de destaque são as lajes alveolares protendidas que tem encontrado sucesso no mercado por serem de fácil instalação e atingirem vãos superiores aos convencionais, facilitando assim o layout e otimizando a estrutura.

As lajes alveolares protendidas podem ser definidas como elementos pré-moldados que possuem vazios longitudinais que contribuem para a diminuição do peso da peça, favorecendo, ainda, outras funções, como isolamento térmico, e garantindo uma elevada esbelteza à peça. A protensão é utilizada como uma forma de se criar tensões prévias de compressão nas regiões onde o concreto seria tracionado em consequência das ações aplicadas.

Apesar de ser um elemento estrutural consolidado no mercado, a norma nacional que estabelece critérios para o seu dimensionamento, a NBR 14861 (ABNT, 2011), é relativamente recente. Para o uso dessa norma, outras normas, como a NBR 6118 (ABNT, 2014) e a NBR 9062 (ABNT, 2006), precisam ser atendidas. Contudo, alguns aspectos do dimensionamento das lajes alveolares presentes nessas normas ainda precisam ser melhor esclarecidos, tais como o comprimento de transferência da protensão em lajes executadas pelo processo de moldagem

com fôrma deslizante. Além disso, deve-se caracterizar com precisão as propriedades reológicas (retração e fluência) do concreto dessas lajes, pois essas propriedades afetam diretamente as perdas de protensão e a avaliação da deformação em serviço das lajes alveolares.

Assim, o objetivo deste trabalho é quantificar o comprimento de transferência de protensão das cordoalhas típicas utilizadas como reforço em lajes alveolares com o objetivo de compará-lo aos valores vigentes nas normas para projeto de estruturas de concreto protendido (NBR 14861 (ABNT, 2011), NBR 6118 (ABNT, 2014) e ACI 318 (ACI, 2008)). Além disso, busca-se quantificar a retração e a fluência que ocorrem no concreto utilizado na confecção de lajes alveolares por meio de fôrma deslizante, uma vez que esses fenômenos influenciam diretamente nas perdas progressivas de protensão desses elementos. No caso da fluência, é proposta uma metodologia alternativa para avaliar a fluência do concreto na configuração real das lajes alveolares. Já para a retração, são analisadas diferentes condições de cura do concreto.

Metodologia:

A determinação do comprimento de transferência da força de protensão em lajes alveolares foi realizada em uma fábrica de estruturas pré-moldadas. Para isso, foram colados doze pinos de medição, espaçados de dez centímetros, nos dois lados da laje alveolar, em uma mesma extremidade, os quais foram medidos antes e após a aplicação da força de protensão. Para maior precisão, foi utilizado uma barra de invar, que foi posicionada sobre a laje para que sua temperatura entrasse em equilíbrio com esta. Sendo assim, foi realizada a medição da barra de invar para descontar eventuais deformações devido à variação de temperatura entre o início e o final das medições.

Para determinação da deformação por fluência, foi utilizada uma metodologia alternativa de modo a se utilizar a própria força de protensão para aplicar uma tensão constante no concreto ao longo do tempo. O objetivo era determinar a fluência do concreto na configuração real da laje alveolar e não em corpos de prova como prescrito na NBR 8224 (ABNT, 2012). Para isso, foi confeccionado uma laje alveolar protendida de 1,8 m de comprimento, na qual foram fixados dois pinos espaçados de 20 cm no meio do vão dessa laje. Após a cura da laje, foi realizada a primeira medição com a laje em repouso. Em seguida, foi realizada a liberação da protensão e o corte transversal da laje. No dia seguinte foi realizado

o corte longitudinal da laje, resultando em dois corpos de prova com a seção transversal em I, que eram reforçados com duas cordoalhas de protensão simétricas com relação ao centroide da seção transversal. No laboratório, os corpos de prova de fluência foram mantidos em câmara climatizada com temperatura constante em $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade constante em $50 \pm 5\%$ durante 168 dias. As medições foram realizadas com periodicidade semanal.

Já para o acompanhamento da retração do concreto foram moldados seis corpos de prova prismáticos. Cada corpo de prova possuía dimensões de 10x10x40 cm e em cada um foram fixados dois pinos de aço, espaçados de 20 cm, posicionados no centro do corpo de prova. Sendo assim, dois destes corpos de prova foram submetidos ao procedimento estabelecido na norma Mercosul NM 131 (ABNT, 1997). Outros corpos de provas seguiram a mesma sequência de cura dos corpos de prova de fluência. Por fim, os outros dois corpos de prova permaneceram no ambiente do laboratório durante todo o período de medições.

Os valores obtidos do ensaio de retração, bem como de fluência, foram comparados com os valores sugeridos pela norma NBR 6118 (ABNT, 2014), no Anexo A, que apresenta uma curva de crescimento da retração e da fluência com o tempo.

Resultados e Discussão:

A partir do ensaio para a determinação do comprimento de transferência, foi traçado um gráfico para cada lateral da laje relacionando a deformação do concreto com a distância à extremidade da laje. Com a estabilização da deformação do concreto, se obtem o comprimento de transferência, onde a tensão na armadura é constante e, conseqüentemente, a deformação do concreto também é constante. Sendo assim, o comprimento médio de transferência da força de protensão obtido na laje alveolar ensaiada foi de 70,68 cm. O modelo sugerido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) indica um valor de 63,85 cm, enquanto a NBR 14861 (ABNT, 2011) sugere um valor inferior de 57 cm e um valor superior de 80,75 cm. Por fim, o ACI 318 (ACI, 2008) sugere um valor de 47,5 cm. Verifica-se, assim, que os valores sugeridos pela norma NBR 14861 (ABNT, 2011) são satisfatórios, estando os valores experimentais no intervalo sugerido por essa norma. Já a formulação apresentada pela NBR 6118 (ABNT, 2014) subestimou em 10% o valor do comprimento de transferência para o valor de resistência do concreto no momento da protensão, mostrando uma aproximação razoável. Já o valor indicado

pelo ACI 318 (ACI, 2008) foi bastante inferior ao valor observado no ensaio, apresentando uma diferença de 33%.

A deformação obtida do ensaio de fluência para um dos corpos de prova, foi de $3,93 \times 10^{-4}$. Já o valor obtido teoricamente por meio da norma NBR 6118 (ABNT, 2014), no Anexo A, foi de $3,91 \times 10^{-4}$. Este valor é praticamente igual ao valor experimental do primeiro corpo de prova, com uma diferença de apenas 0,5%, o que mostra que, de fato, a tensão de compressão era constante nesse corpo de prova de fluência, que não foi afetado pelo processo de produção do segmento de laje. Além disso, o valor do fator de fluência que foi obtido a partir das medições, foi igual a 2,52, enquanto o valor estimado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) foi de 2,78. Observa-se assim, um valor experimental próximo ao da norma, porém inferior.

Já no ensaio de retração, os corpos de prova que ficaram dentro da câmara climatizada apresentaram, após 168 dias, uma deformação de $3,52 \times 10^{-4}$. Esse valor foi cerca de 19% inferior ao valor teórico, estimado em $4,32 \times 10^{-4}$. Os corpos de prova que seguiram o procedimento da NM 131 (ABNT, 1997) apresentaram, após 139 dias, deformação por retração de $9,69 \times 10^{-4}$ e o valor teórico estimado pela norma nessa data foi de $4,19 \times 10^{-4}$. Por fim, o valor da deformação por retração nos corpos de prova que ficaram a temperatura ambiente do laboratório durante 251 dias foi igual a $4,04 \times 10^{-4}$, enquanto o valor estimado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para essa mesma idade foi de $4,44 \times 10^{-4}$.

Conclusões:

Este trabalho procurou estimar o comprimento de transferência da força de protensão em lajes alveolares reforçadas com cordoalhas de sete fios e 9,5 mm de diâmetro, bem como avaliar a deformação por retração e por fluência do concreto utilizado na confecção dessas lajes.

Os resultados obtidos validaram de forma satisfatória as considerações da norma NBR 14861 (ABNT, 2011) quanto ao comprimento de transferência da protensão em lajes alveolares protendidas executadas pelo processo de forma deslizante. O comprimento médio obtido no ensaio foi de 70,68 cm enquanto essa norma estabelece que, para essa laje, o comprimento deveria variar entre 57 cm e 80,75 cm. Quanto ao comprimento estimado pelo ACI 318 (ACI, 2008), de 47,5 cm, os valores foram bem inferiores aos obtidos no ensaio dessa laje. Já a formulação sugerida pela norma NBR 6118 (ABNT, 2014), que leva

em consideração a resistência à compressão do concreto, também apresentou boa aproximação com o valor obtido no ensaio, com uma diferença de apenas 11% (63,58 cm).

Com relação à fluência, foi utilizado um procedimento alternativo à norma NBR 8224 (ABNT, 2012) para estimar o fator de fluência diretamente na laje protendida. Para isso, foi utilizado um segmento de laje extraído da produção das lajes na pista de protensão. Isso é particularmente importante devido à forma de produção da laje alveolar, o que dificulta a garantia da mesma energia de adensamento em corpos de prova cilíndricos. Além disso, com esses segmentos extraídos da laje foi possível garantir o mesmo perímetro de secagem da laje alveolar. Os resultados mostraram um fator de fluência aproximadamente 9% inferior ao estimado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) após 168 dias. Isso sugere que a norma apresenta uma formulação a favor da segurança, para o comportamento do fator de fluência de uma laje protendida em situação de uso. Isso é um indicador muito importante, uma vez que a deformação do concreto por fluência tem impacto direto nas perdas de protensão que a laje sofre ao longo de sua vida útil.

Quanto à retração do concreto da laje alveolar, observou-se que o valor final da deformação sofre influência do processo de inchamento do corpo de prova. Quando o mesmo é imerso em água com apenas 24 horas e depois colocado para secar em ambiente com 50% de umidade, a deformação de retração após 139 dias é 183% maior que aquela observada nos corpos de prova que são curados ao ambiente por dois dias e depois colocados para secar nas mesmas condições. Contudo, a velocidade de secagem nesses dois procedimentos foi, aproximadamente, igual, mostrando não haver influência do inchamento inicial do corpo de prova no processo de secagem. Quando comparada com a deformação por retração estimada pela NBR 6118 (ABNT, 2014) após 251 dias, a melhor aproximação se deu com os corpos de prova que foram secos ao ambiente, apresentando uma diferença de apenas 10% em relação ao valor estimado.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NM 131 – Concreto Endurecido - Determinação da retração hidráulica ou higrométrica do concreto. Rio de Janeiro, 1997
 _____. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

____. NBR 8224 - Concreto endurecido — Determinação da fluência — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012

____. NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, Rio de Janeiro, 2006.

____. NBR 14861 - Lajes Alveolares Pré-Moldadas de Concreto Protendido-Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2011.

ACI - American Concrete Institute. ACI 318. Building code requirements for structural concrete. Committee 318, Farmington Hills, Mich. 2008.