

A escassez de mão de obra é um dos principais gargalos para que o mercado imobiliário atenda à demanda aquecida. Para reduzir riscos de ameaça à continuidade do crescimento do setor, as construtoras podem adotar processos que acelerem o ciclo produtivo, reduzam a necessidade de mão de obra e otimizem custos, como a laje plana tensionada, um sistema utilizado há mais de 40 anos em países como Estados Unidos e Canadá, e no Brasil, há mais de 12 anos. Com ele, é possível o tempo de execução de uma laje em cinco dias e a utilização de mão de obra em até 70%. Isso porque o sistema possibilita a redução do número de pilares, consumo de aço e de fôrmas, e facilita o uso de outras tecnologias industrializadas, como o drywall, laje zero e fachadas pré-fabricadas.

Descrição

A laje plana tensionada é um sistema misto que utiliza concreto com vergalhões de aço CA-50/60 e cabos metálicos pós-tensionados (cordoalhas engraxadas CP 190-RB), ancorados por placas e cunhas nas extremidades das próprias lajes de concreto armado. Esse sistema se equivale a um modelo de ponte pênsil ou ponte estaiada, com os cabos tensionados embutidos no próprio piso (concreto armado) ou aparentes (pisos metálicos, tipo steel deck ou madeira).

O modelo de cálculo adotado para esse sistema misto considera o peso próprio da laje mais uma parcela das cargas permanentes, equilibradas por cordoalhas engraxadas (cabos pós-tensionados), sem aderência com o concreto. Assim, o tensionamento anula as deformações (flechas) e provoca pequenas contraflechas, capazes de folgar o escoramento no meio da laje de modo a facilitar o trabalho da desenforma. As cargas permanentes e as cargas acidentais restantes são equilibradas pela laje plana de concreto armado, utilizando os métodos de cálculo de grelha ou elementos finitos. Para essa parcela de carga, são verificadas as flechas máximas e a necessidade de armaduras de punção, atendendo aos requisitos da NBR 6118:2003 - Projeto de Estruturas de Concreto. Para os cabos tensionados (tirantes), são verificados as perdas de tensionamento e requisitos da NBR 8800:1997 - Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios - Método dos Estados Limites. A ligação dos pisos tensionados com os pilares é considerada como apoio rotulado e a verificação da estabilidade global e ação do vento, de acordo com a NBR 6123:1988 - Forças Devidas ao Vento em Edificações, é calculada com a utilização de paredes e pilares especiais de contraventamento. Os demais pilares, verticais ou inclinados, são considerados pilares contraventados e birrotulados.

Cronograma de execução

Tipo de concreto a ser utilizado

No caso específico dos pisos tensionados (tension deck) com lajes planas de concreto armado, recomenda-se a utilização de concretos $F_{ck} \geq 30$ MPa e fator $a/c \leq 0,55$ com consumo mínimo de cimento de 300 kg/m³.

Espessura mínima da laje

Por norma, a espessura mínima para laje lisa protendida é 16 cm. Entretanto, na maioria dos casos, utilizam-se lajes com 18 cm (distância entre pilares = 8 m).

Indicadores

A mão de obra necessária para a montagem das cordoalhas costuma variar entre 30 e 40 Hh/t por cordoalha, além de um carpinteiro. Essa mão de obra é geralmente composta por 50% de ajudantes e 50% de armadores.

Controle da qualidade

Inspeção da tecnologia do concreto, especificações de materiais (traço), aditivos antirretração etc.; acompanhamento e fiscalização da concretagem e cura da laje; análise de ensaios e liberação para tensionamento dos cabos.

Inspeção das armaduras:

🔧 Armação CA-50 A

🔧 Armação CP-190 RB - cordoalhas engraxadas

🔧 Conferência entre o projeto estrutural e os serviços realizados pela empresa de protensão.

🔧 Grauteamento de nichos (proteção das ancoragens)

Manutenção da laje plana tensionada

A laje protendida praticamente não necessita de manutenção. Se, por acaso, o cabo se romper devido a alguma furação ou algo do tipo, pode ser facilmente substituído sem prejudicar o funcionamento da estrutura.

Indicadores de preços e formas de comercialização

A construtora deve contratar os serviços de projeto estrutural, fôrma para lajes em alumínio e tensionamento (protensão), conforme especificado a seguir:

A comercialização é feita de acordo com o projeto do empreendimento. Já as fôrmas para lajes em alumínio podem ser locadas ou compradas. O orçamento deve ser feito a partir de uma análise detalhada do projeto estrutural do empreendimento. Os valores e condições variam de acordo com o volume e prazo, e podem ser obtidos diretamente com a empresa fornecedora. A protensão deve ser executada por empresa com experiência em lajes planas e com histórico de obras semelhantes.

Etapas de construção

Projeto estrutural

A primeira etapa é a contratação do projeto estrutural. O calculista contratado deverá fazer um estudo preliminar das plantas dos pavimentos-tipo e garagem, elaborar uma proposta técnica e comercial com visualização 3D da estrutura e um escopo dos serviços com plantas, quantitativos de cabos, posições e excentricidade nos apoios, além dos vãos e ancoragens. O traçado dos cabos é uma parábola de segundo grau, passando por três pontos (excentricidades).

O calculista também será responsável pela verificação do projeto executivo e planta de cadeirinhas para liberação da execução, vistoria e acompanhamento do posicionamento e interferências dos cabos com instalações, e aprovação dos relatórios de tensionamentos e alongamentos dos cabos com Anotação de Responsabilidade Técnica do Crea (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia).



Esquema de funcionamento do sistema drophead

Fôrma e escoramentos

A segunda etapa é a contratação da fôrma para lajes em alumínio e os escoramentos da laje. Com o projeto estrutural do empreendimento, a empresa fornecedora dos equipamentos deverá elaborar uma proposta técnica e comercial. Depois de contratada, a empresa deverá fornecer os projetos executivos das fôrmas e escoramentos, além de assistência técnica durante a execução da obra.

O sistema de fôrma para lajes e seu escoramento são fundamentais para garantir o cronograma. Hoje, o mercado oferece sistemas compostos por painéis de alumínio forrados com compensado plastificado, que permitem a montagem de lajes sem a necessidade de cortes, pregos e emendas, e dispensam mão de obra especializada e revestimento de teto, já que são formados por apenas duas peças básicas - painel e escora, montados sem necessidade de ferramenta especial.

Também é possível contratar sistemas que, devido aos seus dispositivos de reescoramento, propicia que em nenhum momento a escora perca o contato com o concreto, permitindo a desenforma da laje em cerca de três dias.

Tensionamento (protensão)

Após a montagem da fôrma da laje e lançamento da armadura positiva, o próximo passo é a colocação das cordoalhas, que devem ser enviadas pelo fornecedor para a obra já cortadas (nas dimensões especificadas no projeto) e identificadas. A colocação deve se iniciar pela fixação da ancoragem passiva (pré-blocagem das cordoalhas). Logo depois, deve-se marcar o posicionamento das ancoragens ativas nas fôrmas de borda, furar e fixá-las, assim como os respectivos nichos de protensão. Com essa etapa concluída, as cordoalhas são lançadas e amarradas conforme excentricidade e posicionamento definidos no projeto executivo. As armaduras de fretagem são lançadas, assim como a ferragem negativa. Antes da concretagem, toda a instalação deve ser inspecionada.



Macaco hidráulico e acessórios para protensão

Após a concretagem, desenforma-se a borda da estrutura e retiram-se os nichos de protensão. As cordoalhas são marcadas para medição dos alongamentos e protendidas com a carga solicitada pelo engenheiro projetista.

Relatórios com a medição dos alongamentos devem ser emitidos.

As pontas das cordoalhas devem ser cortadas (após aprovação do calculista) e os nichos preenchidos com graute. A desenforma e o reescoramento da laje devem ser realizados conforme orientação do projetista.

Características técnicas - Sequência executiva

1ª dia

Montagem dos pilares



Início da montagem dos pilares (pavimento-tipo)

2ª dia

Pilares prontos



Pilares prontos no segundo dia

3ª dia

Montagem da fôrma da laje em alumínio



Montagem do assoalho com fôrma para lajes em alumínio



Fôrma para lajes em alumínio pronta no terceiro dia

4ª dia

Bordas, arremates e tela soldada



Colocação dos arremates prontos

5ª dia

Cordoalhas



Lançamento das cordoalhas que se repetem em todos os tipos, tela soldada e CA-50/60

Concretagem



Início e fim da concretagem no quinto dia

[Carlos Augusto C. N. da Gama](#), Mestre em Engenharia Civil, MCA Tecnologia de Estruturas Ltda, www.mca.eng.br, mca@mca.com.br

[Luiz Henrique C Gomes](#), Engenheiro civil , SH Fôrmas Andaimes e Escoramentos, www.sh.com.br, sac@sh.com.br

[Otamar A. Rogério Filho](#), Engenheiro civil, PTE - Pós-Tensão Engenharia Ltda, www.pte.com.br, pte@pte.com.br

LEIA MAIS

[Manual SH de Fôrmas para Concreto e Escoramentos Metálicos](#), Editora PINI, 2008.

[Free-Standing Tension Structures](#), From tensegrity systems to cable-strut systems, Wang Bin Bing, Taylor & Francis Group, 2004.

[Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas](#), Eng. Eugenio Luiz Cauduro.

[Prestressed Concrete - A Fundamental Approach](#), 3ª edição, Edward G. Nawy, Prentice Hall, 2000.

[NBR 8800](#) - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios.

[NBR 15575-1:05/2008](#) - Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 01: Requisitos Gerais.

[NBR 6122:04/1996](#) - Projeto e Execução de Fundações.

[NBR 15200:11/2004](#) - Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio.

[NBR 6118 :2003](#) - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimentos.

[NBR 6123](#) - Forças Devidas ao Vento em Edificações.

[NBR 6120](#) - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações.