

LAJES PLANAS PROTENDIDAS: DETERMINAÇÃO DA FORÇA DE PROTENSÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS CABOS – UM PROCESSO PRÁTICO

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos projetos de lajes protendidas, as armaduras a serem determinadas resultam na combinação das quantidades de aço passivo (não protendido) e ativo (protendido). Fica, pois, a critério do engenheiro projetista a escolha da proporção entre as duas armaduras. Assim, dois engenheiros podem encontrar diferentes soluções para o mesmo caso de dimensionamento.

Em face dos diferentes softwares disponíveis hoje no mercado usarem diferentes critérios para determinação da força inicial de protensão e, portanto, implicar em diferentes resultados para o pré-dimensionamento dos cabos de protensão nas lajes de edifícios, é necessário que o engenheiro projetista tenha o total domínio sobre a escolha das quantidades de cabos a usar no seu projeto, sob pena de resultar em projetos antieconômicos ou, por outro lado, sem tirar o total proveito que a protensão propicia de vantagens no seu uso para edifícios correntes, sejam de uso residencial ou comercial.

Neste artigo, apresentamos um processo prático e simples, que pode ser facilmente programado em planilhas eletrônicas usuais, ou em máquinas calculadoras programáveis, para a determinação da força inicial de protensão com pré-dimensionamento da quantidade de cabos para lajes protendidas. Com a quantidade de cabos pré-dimensionados, facilita-se e prepara-se a entrada de dados em programas mais complexos para o dimensionamento estrutural, permitindo ao engenheiro projetista proceder às verificações usuais dos estados de tensões da estrutura em serviço e no estado limite último (de acordo com as exigências das Normas), de forma a determinar as quantidades de armaduras passivas da maneira mais econômica e com menos tempo despendidos em tentativas várias.

Por intermédio deste processo, podemos observar também, que o pré-dimensionamento de cabos independe de qual tipo de cabo se irá usar, seja ele aderente (sistema com bainhas metálicas e cordoalhas no seu interior com aderência posterior), seja ele não aderente (sistema com cabos engraxados e envoltos por bainhas plásticas sem aderência posterior).

2.0 – O PROJETO DE LAJES PROTENDIDAS - SÍNTESE

O projeto de lajes planas protendidas pode ser resumido em quatro etapas básicas que são a seguir: modelagem estrutural, análise estrutural, dimensionamento de armaduras e detalhamento (Fig. 1).

A modelagem estrutural consiste na concepção da estrutura. O engenheiro define a distribuição dos pilares na planta com suas respectivas dimensões, determina a geometria em planta da laje e escolhe a sua espessura em função do vão, do cobrimento das armaduras passivas e ativas e da resistência ao fogo. São escolhidos os demais elementos que compõem a estrutura e aplicam-se as cargas atuantes.

A análise estrutural consiste na verificação da estabilidade global da estrutura, na determinação dos esforços (momentos e cortantes), na verificação das tensões e dos estados limites. Os métodos mais usados para a análise das estruturas em concreto protendido são: Método dos Pórticos Equivalentes e Método dos Elementos Finitos (Grelhas ou Método de Elementos Finitos de Placa).

No dimensionamento das armaduras passivas calculam-se as seções de aço necessárias para controlar a fissuração e garantir a segurança à ruína definida no Estado Limite Último.

Finalmente procede-se ao detalhamento executivo do projeto com emissão dos desenhos que irão para a obra.

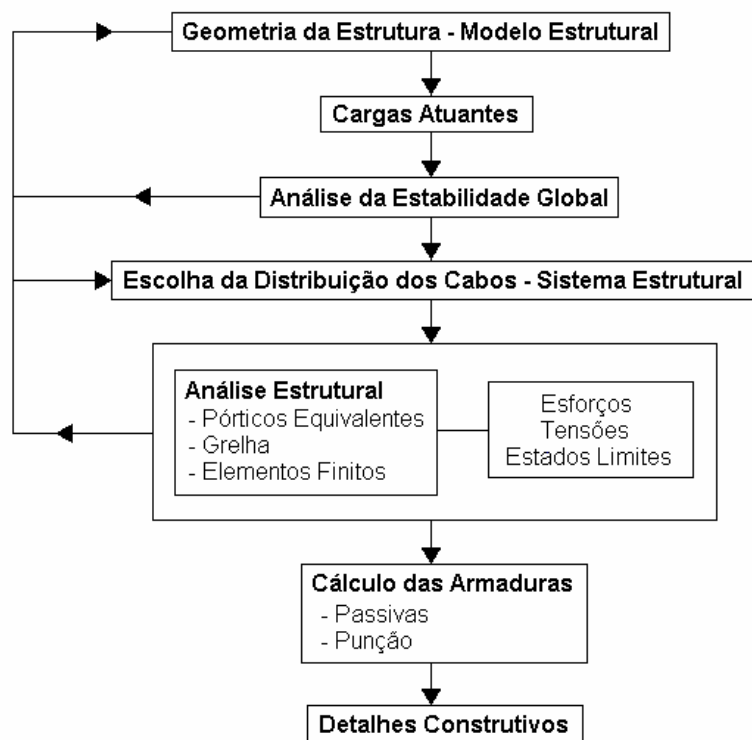


Fig. 1

Para se proceder a análise estrutural se faz necessário que se escolha a priori, a distribuição, lay-out e perfil dos cabos na laje e que se determine a força de protensão que se irá aplicar na laje.

Trataremos a seguir de como determinar a força de protensão a ser utilizada em lajes planas protendidas de edifícios.

3.0 – ESCOLHA DA PROTENSÃO

Uma das características dos projetos em lajes protendidas, é que depende diretamente do engenheiro projetista a determinação da quantidade de protensão que irá aplicar à laje, a disposição e o perfil dos cabos. Alterando os critérios adotados para a determinação destes itens, resultará em projetos totalmente diferentes. Assim, ao contrário de projetos em concreto armado, que uma vez fixados a geometria da estrutura, as propriedades dos materiais usados e as cargas aplicadas à estrutura, encontram-se sempre as mesmas quantidades de armaduras, ou seja, o resultado do projeto será único, a solução de um projeto em concreto protendido dependerá diretamente de quais critérios o engenheiro projetista adotará na escolha daqueles três itens acima para a determinação da combinação de aço de protensão e aço passivo.

Os cabos de protensão podem ser lançados de forma a modificar o sistema estrutural correspondente à laje mais cargas, de acordo com o interesse do engenheiro projetista. Desta forma, o sistema estrutural composto por laje, cargas e protensão poderá apresentar uma distribuição de esforços internos e deformações diferentes do sistema estrutural original laje mais cargas. Como exemplo, tomemos uma laje retangular simplesmente apoiada nos bordos. Na Fig. 2a temos os diagramas de momentos nos eixos X e Y da laje. Na Fig. 2b temos os diagramas de momentos nos eixos X e Y da laje após a introdução de uma faixa de cabos protendidos no eixo de simetria da laje na direção X.

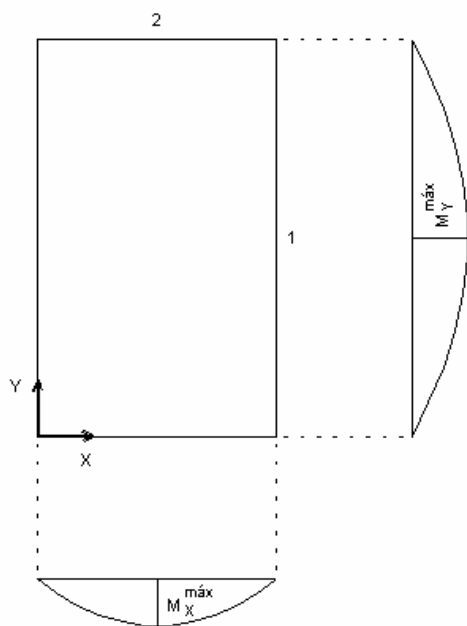


Fig. 2a

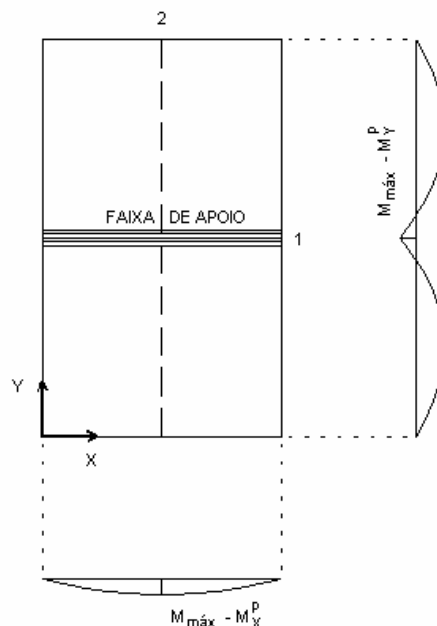


Fig. 2b

Como regra prática, para definir a disposição dos cabos na laje devemos inicialmente, no caso de lajes protendidas em duas direções (sistema bidirecional), determinar uma série de linhas de suporte em cada uma das duas direções principais (Fig. 3). Estas são linhas que unem os pilares adjacentes e que o engenheiro intuitivamente deverá estabelecer como os caminhos mais curtos que as cargas verticais (permanentes + acidentais) deverão seguir de cada ponto da laje para os apoios (pilares, paredes ou vigas). Obviamente que em lajes de geometria regular a determinação das linhas de suporte será de fácil determinação enquanto que em lajes de geometria irregular e com distribuição de pilares muito irregular, esta tarefa exigirá uma boa experiência do projetista. Uma boa alternativa para a determinação das linhas de suporte é discretizar a laje em elementos finitos (de barra – grelha ou de placa) e observando sua deformada traçar as linhas de apoio seguindo as regiões onde se configuram como trechos de menor de deformação entre os pilares adjacentes.

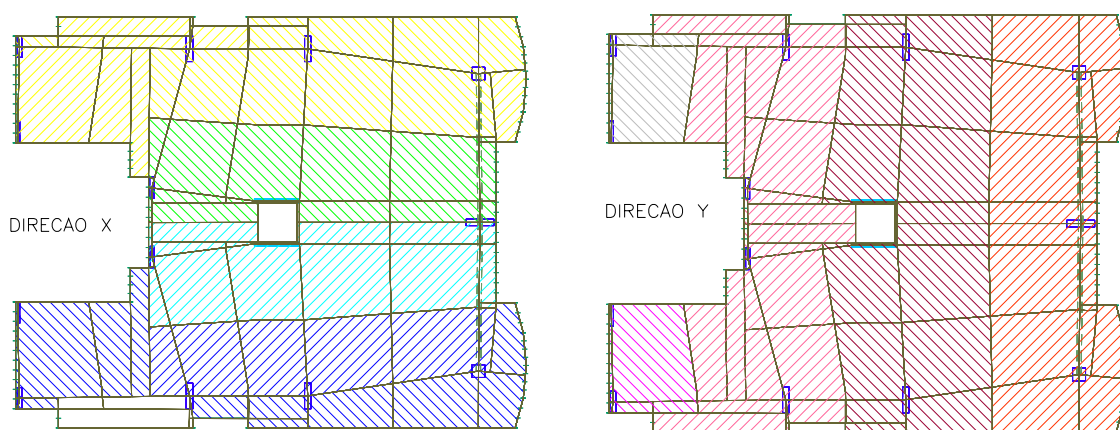


Fig. 3

Após a escolha das linhas de suporte, deveremos determinar quais as faixas de contribuição de carga para cada linha de suporte. Estas faixas de contribuição de carga deverão ser as regiões formadas pelos

pontos médios entre duas linhas de suporte adjacentes (Fig 4). Desta forma teremos determinado as faixas de cálculo que iremos utilizar para a determinação da força de protensão para cada linha de suporte.

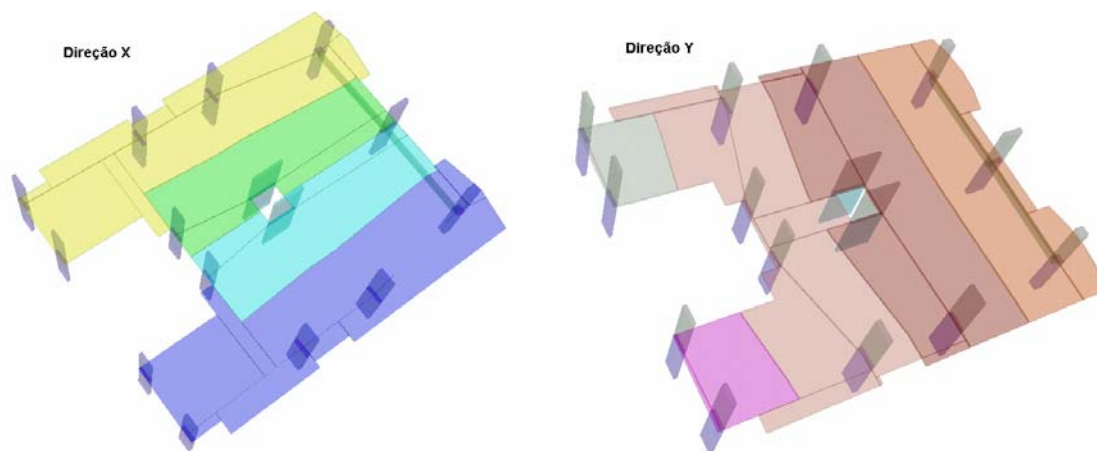


Fig. 4

Para a escolha da força de protensão em cada faixa de cálculo, parte-se do Método das Cargas Balanceadas. O método das cargas balanceadas foi introduzido por T. Y. Lin (ver referência 1) como um simples, entretanto poderoso método para análise de peças protendidas.

Este método considera as componentes transversais da protensão como forças agindo em sentido contrário ao das cargas verticais da laje. A protensão será tomada com intensidade tal que suas componentes transversais equilibrem a carga permanente e mais uma parcela da carga acidental (ver referência 2).

Escolhe-se então, qual o percentual de cargas deveremos equilibrar com a protensão. Para edifícios com cargas acidentais pequenas, menor que 5 KN/m², que é o caso de edifícios residenciais e edifícios comerciais de escritórios, escolhe-se entre 50% a 80% da carga permanente como carga a equilibrar com a protensão. Esta ordem de grandeza na escolha da carga a equilibrar, resulta via de regra, por ocasião das verificações dos estados de tensões das seções de dimensionamento, em se trabalhar com estruturas protendidas com nível de protensão 2 – concreto protendido com protensão limitada (ver tabela 13.3 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental – NBR 6118 : 2003), que é o nível de protensão mais indicado para o dimensionamento de estruturas de edifícios correntes. O cálculo da força de protensão se faz utilizando-se as relações indicadas na Fig. 5, onde o perfil dos cabos é adotado como parábolas reversas.

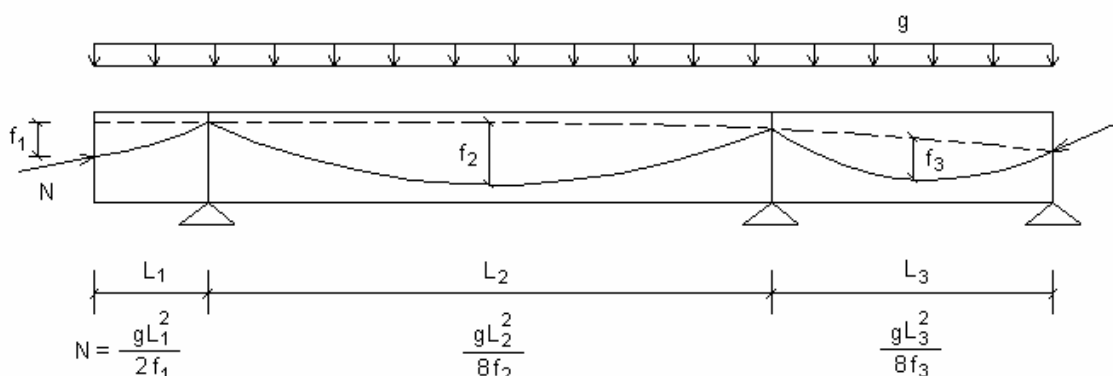


Fig. 5

A força de protensão é então calculada para cada linha de suporte. A determinação do número de cabos para cada vão de cada linha de suporte será:

$$n = \frac{N}{P_i}$$

onde:

n : Número de cordoalhas;

N : Força de protensão;

P_i : Força de protensão inicial por cordoalha.

Poderemos então variar, dependendo das diferenças entre os comprimentos dos vãos e dos valores das cargas a equilibrar com a protensão, a quantidade de cabos por vão, caso isto seja possível, ou mantendo-se a quantidade de cabos variar a excentricidade máxima.

Como este é um processo para pré-dimensionamento de cabos, consideram-se as cargas, de modo simplificado, uniformemente distribuídas sobre as lajes.

Para a distribuição dos cabos nas lajes, normalmente adota-se um lay-out onde os cabos são concentrados em uma direção e distribuídos na direção ortogonal, como forma de tornar mais produtiva a execução da armação das lajes. Na direção onde os cabos são concentrados os mesmos devem seguir o alinhamento determinado pelas linhas de suporte, ligando os diversos pilares que a compõem (Fig. 6).

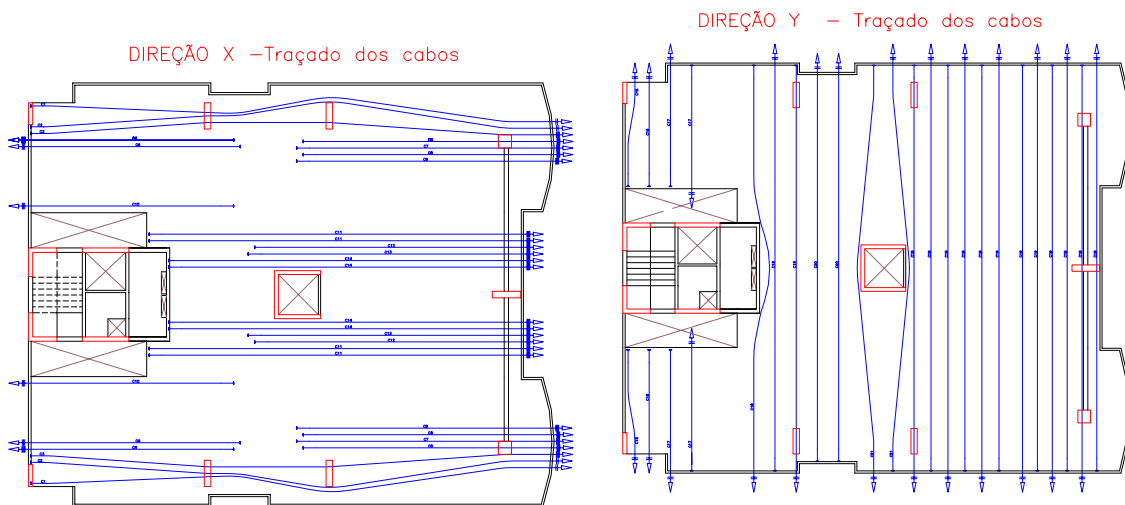


Fig. 6

4.0 – CONCLUSÃO

Com o exposto neste artigo, procuramos apresentar um processo prático baseado no Método das Cargas Balanceadas para a determinação da força de protensão a adotar com a finalidade de pré-dimensionar a quantidade de cabos a utilizar nos projetos em lajes protendidas para edifícios comerciais e residenciais correntes. Utilizam-se as quantidades de cabos pré-dimensionados e seu traçado para dar-se entrada em programas de dimensionamento mais complexos e proceder ao desenvolvimento do projeto estrutural completo do edifício.

5.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – Lin, T. Y., “Load-Balancing Method for Design and Analysis of Prestressed Concrete Structures” – ACI Journal, Proceedings V.60, June 1963, pp. 719-742
- 2 – Aalami, B. O., “Load Balancing: A Comprehensive Solution to Post-Tensioning – ACI Journal, Technical Papers – November/December 1990
- 3 – Schmid, M. T. “Lajes Planas Protendidas” – Rudloff – VSL Industrial Ltda – 1993
- 4 – CAD/Lajes – Projeto de Lajes Protendidas – TQS Informática Ltda. - 2003
- 5 – Stup-Freyssinet – Publicação sobre lajes protendidas – 1990
- 6 – NBR-6118, Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento – Março 2003

Autores do artigo:

Marcelo Silveira – Eng. Civil – Diretor da MD Eng. Associados Ltda.

Denise Jucá Silveira – Enga. Civil – Diretora da MD Eng. Associados Ltda.