

ESTABILIDADE LATERAL DOS EDIFÍCIOS EM LAJES PLANAS PROTENDIDAS

1.0 - INTRODUÇÃO

Os edifícios em lajes planas protendidas com cordoalhas engraxadas e plastificadas são projetados e construídos há cinquenta anos nos Estados Unidos. Aqui no Brasil, a técnica da protensão com cabos engraxados foi iniciada em 1997, sendo que anteriormente os edifícios eram executados com o sistema de cabos aderentes.

A introdução deste sistema de protensão leve, objetivando seu uso em larga escala em edifícios correntes, tira partido principalmente do uso de lajes planas sem vigas, ou pelo menos, com o mínimo de utilização das mesmas, retirando-se, quando possível, as de borda, inclusive (Fig. 1). Esta forma de projetar tem como objetivo simplificar sobremaneira a execução das formas da estrutura resultando em economia pelo fato de reduzir o consumo de material e de mão de obra na execução das mesmas. Facilita-se também a execução das armaduras e o lançamento do concreto, que na execução das vigas é mais demorado e dificultoso devido às interferências das armaduras das próprias vigas com os pilares e, finalmente, na execução das vedações, sejam em alvenaria convencional, painéis pré-fabricados ou ainda nas vedações em gesso acartonado (dry-wall).

Esta concepção estrutural de lajes planas implica na mudança dos partidos estruturais normalmente adotados pelos projetistas acostumados a trabalhar com estruturas convencionais onde se faz uso dos sistemas de lajes apoiadas em vigas que por sua vez se apóiam nos pilares, e que, por conseguinte, se formam inúmeros pórticos nas direções principais do edifício, contribuindo para a estabilidade às ações laterais.

Neste artigo, comentaremos quais os sistemas estruturais de contraventamento mais utilizados nos projetos com lajes planas protendidas. É importante salientar que, a resposta às ações laterais das estruturas em lajes planas deverá ser eficiente, de forma a garantir o perfeito funcionamento da edificação, ou seja, os parâmetros de estabilidade costumeiramente utilizados nas verificações das estruturas com vigas aporticadas deverão ser mantidos (deformações limites no topo da edificação e parâmetro de estabilidade γ_z).



Edifício de apartamentos residenciais em Fortaleza - CE

Fig. 1

2.0 – MODELAGEM ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO

Antes do advento dos computadores pessoais de grande potência, os recursos que os projetistas dispunham para análise estrutural eram bastante limitados, de forma que o procedimento básico para a concepção das estruturas era dividir os pilares em dois grupos distintos: os pilares contraventados e os pilares (elementos) de contraventamento. Segundo Fusco (referência 3), os elementos de contraventamento são constituídos por pilares de grandes dimensões, por paredes estruturais, por treliças ou pórticos de grande rigidez, de forma a garantir a estabilidade da estrutura no seu conjunto, bem como resistir à ação do vento ou de sismo, conforme o caso, sobre toda a construção.

O grupo dos pilares contraventados são aqueles os quais não são delegadas as funções de resistir às ações laterais.

Com esta concepção, as estruturas eram convenientemente calculadas dentro das disponibilidades de recursos computacionais existentes.

A evolução dos computadores portáteis, e conseqüentemente o desenvolvimento dos softwares de cálculo estrutural disponíveis para micro-computadores, possibilitaram aos projetistas trabalhar com modelos de estruturas mais complexas de forma a não mais se preocupar com a divisão física entre pilares de contraventamento e pilares contraventados. Hoje em dia os projetistas lançam as suas estruturas e aplicam as cargas (gravitacionais e ações laterais) às estruturas, e os programas tratam de calcular os esforços em todos os elementos estruturais, e partir daí procedem ao dimensionamento de pilares, vigas, lajes, fundações, etc.

Surge então um problema que vários projetistas deixam passar sem a devida análise. Normalmente os pilares que são adotados em edifícios correntes sejam comerciais ou residenciais, são predominantemente retangulares. Assim, mesmo em estruturas comuns constituídas por sistema lajes-vigas-pilares, na direção onde se desenvolve a maior dimensão dos pilares, formam-se os pórticos mais rígidos, enquanto que nas direções de menor dimensões dos pilares, os pórticos têm pouca ou nenhuma rigidez que possa ajudar no contraventamento das estruturas. O fato é que, caso o projetista não estabeleça como critério para o seu programa de análise estrutural que não deva levar em conta toda a largura do pilar para o cálculo da rigidez que, efetivamente, colabora para impedir a rotação da viga, teremos momentos de engastamento viga-pilar exageradamente altos naquela direção considerada, sem, entretanto, isto corresponder à realidade. Assim, é necessário assumir o conceito de nós flexibilizados (ver referência 4), onde impõe-se uma dimensão máxima para a contribuição do pilar na composição do pórtico (normalmente como um múltiplo da largura da viga), naquelas vigas que se apóiam nos pilares na direção de menor de dimensão (Fig. 2).

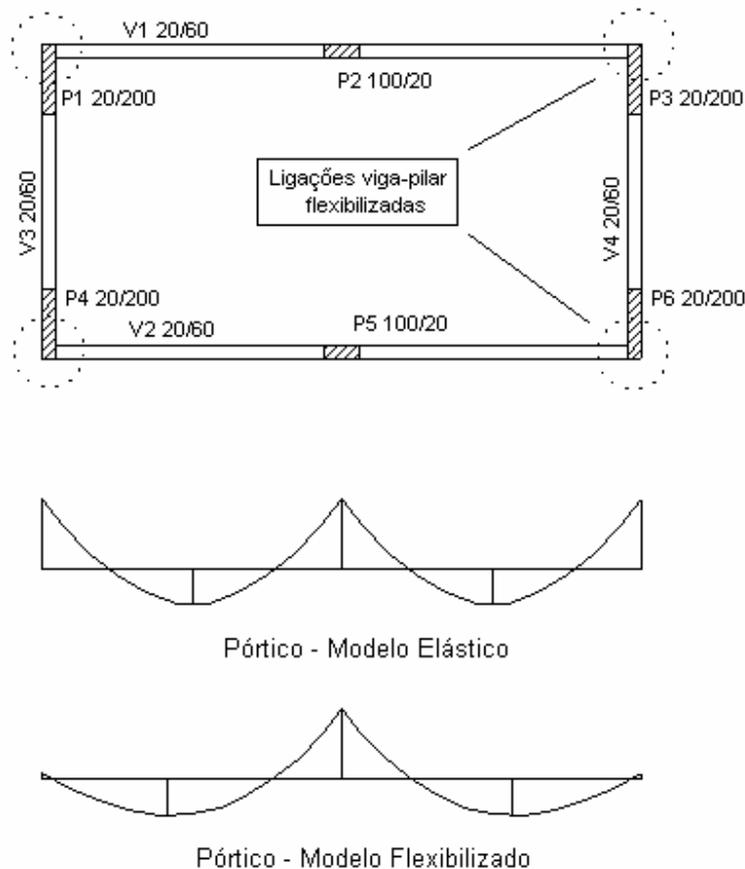


Fig. 2

Desta forma, é comum os projetistas atuais contarem com modelos mais rígidos que na realidade o são caso não se projetem corretamente suas estruturas de contraventamento e deixem de levar em conta os critérios de flexibilização das ligações viga-pilar.

Pergunta-se então: onde queremos chegar com o acima disposto?

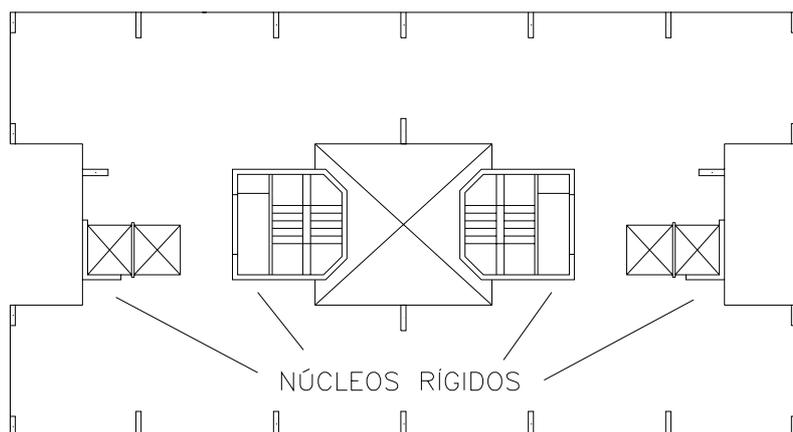
A resposta é que, os modelos estruturais devem ser convenientemente elaborados de forma a não distorcer resultados de análise ao serem considerados elementos com rigidezes incompatíveis com sua função dentro de uma estrutura. Os softwares não têm poder de decisão! A concepção estrutural é de competência exclusiva do projetista, cabendo a este adotar as hipóteses de cálculo corretas e informar ao programa de análise estrutural os critérios para a efetivação do cálculo estrutural. Como podemos ver, projetar uma estrutura composta por o sistema viga-pilar formando pórticos pode não ser critério determinante para a solução da sua estabilidade global.

Assim, projetar estruturas com lajes planas lisas (sem vigas) protendidas é perfeitamente viável e seguro desde que o projetista tenha bem definidos os sistemas de contraventamento responsáveis pela estabilidade global da edificação compatíveis com este tipo de solução estrutural.

São três principais tipos de sistemas de contraventamento indicados para o uso nas estruturas compostas de lajes planas protendidas:

2.1 – NÚCLEOS RÍGIDOS

As estruturas podem ser contraventadas apenas por núcleos rígidos. Este sistema de contraventamento caracteriza-se pelo uso de caixas de elevadores e escadas com elementos em concreto. Assim, a estabilidade da estrutura no seu conjunto, bem como a resistência às ações laterais (vento e sismo) é, na sua quase totalidade, de responsabilidade destes elementos (Fig. 3).



Estrutura em planta

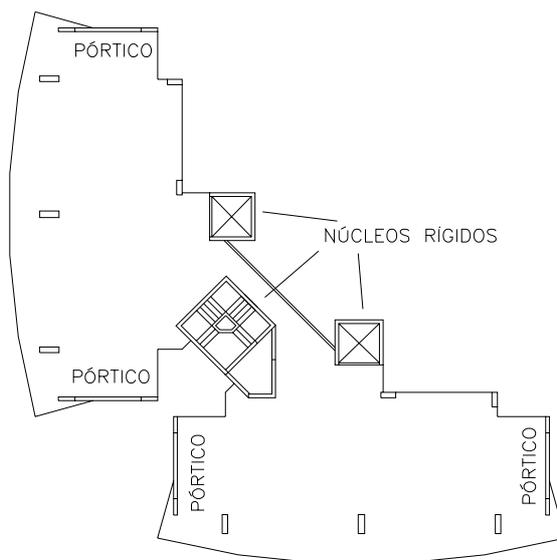


Fachada principal da obra

Fig. 3 - Edifício Residencial em Fortaleza - CE

2.2 – NÚCLEOS RÍGIDOS + PÓRTICOS

Este sistema de contraventamento é constituído pela associação de núcleos rígidos e pórticos convenientemente posicionados na planta da estrutura (Fig. 4).



Estrutura em planta



Fachada principal

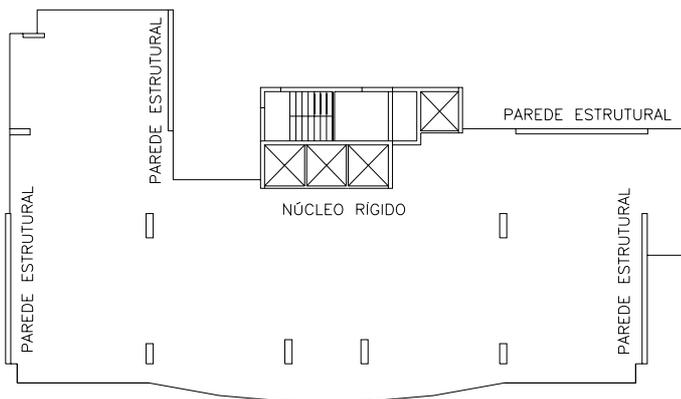


Fachada posterior

Fig. 4 – Edifício residencial em Fortaleza - CE

2.3 – NÚCLEOS RÍGIDOS + PAREDES ESTRUTURAIS

Este sistema de contraventamento consiste na associação de núcleos rígidos, que assim como nos dois primeiros casos são formados pelas caixas de escada e / ou elevadores, com paredes estruturais que normalmente são posicionadas nas paredes cegas das fachadas da edificação (Fig. 5). As paredes cegas podem ter, eventualmente aberturas para janelas ou portas, mas que devem ser cuidadosamente analisadas e devidamente dispostas armaduras de reforços, pois via de regra aparecem tensões localizadas nos cantos destas aberturas.



Estrutura em planta

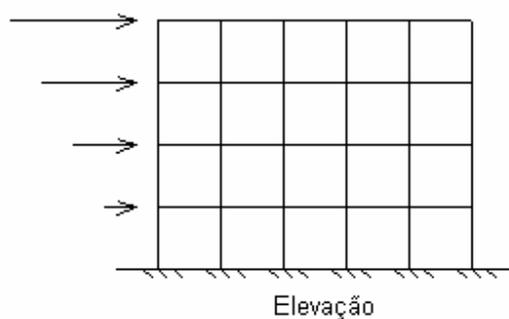


Fachada principal

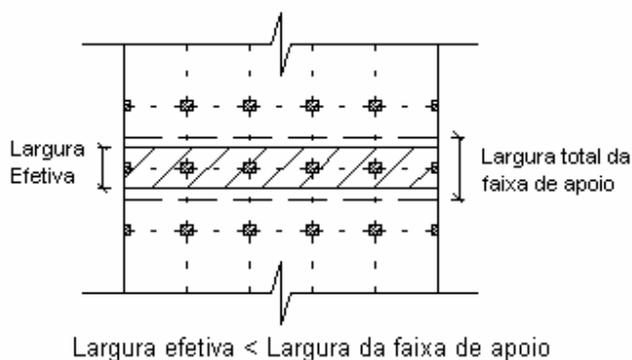
Fig. 5 – Edifício do Hotel Blue Tree em Fortaleza - CE

Deve-se, ainda, associar aos sistemas principais de contraventamento os pórticos de pequena rigidez formados pelas linhas de apoio usadas para o dimensionamento das lajes protendidas. Desta forma, leva-se em conta a rigidez à flexão das lajes protendidas, que são de espessura considerável (não menores que 16 cm, e, para os vãos mais econômicos que são acima de 7,0 m, assumem valores da ordem de 17 e 18 cm ou

mais, de acordo com o vão e carregamento). Assim, para o sistema estrutural resistente às ações laterais, escolhe-se como largura efetiva da faixa que une os pilares que compõem uma linha de apoio, como sendo 50% da largura total desta (ver referência 2). Para melhor compreensão ver Fig. 6. Para o dimensionamento da laje, não deve-se equilibrar os momentos oriundos da ação do vento (ou sismo) com a protensão. A totalidade destes esforços deve ser absorvida por armaduras passivas convenientemente dimensionadas, considerando-se a inversão dos esforços devido à mudança de direção das ações horizontais, inclusive.



a) Sistema estrutural para ações laterais



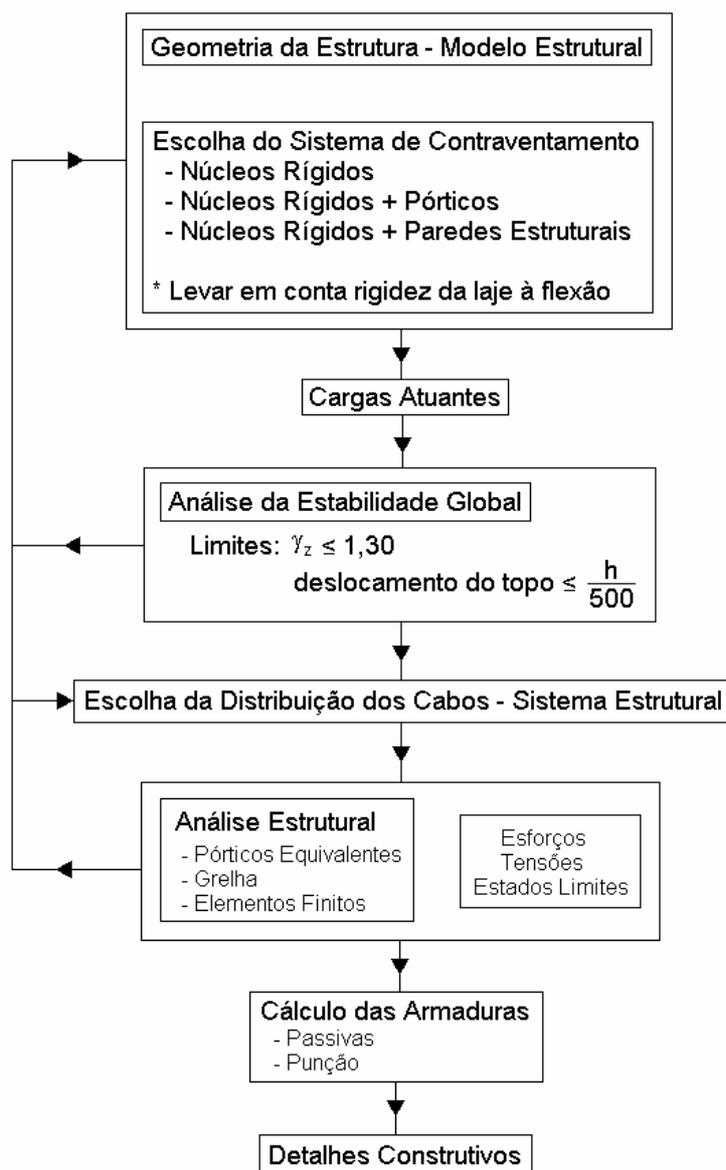
b) Planta - Modelo para ações laterais

Modelo para ações laterais e largura efetiva

Fig. 6

3.0 – RESUMO DE UM PROJETO

Podemos resumir os passos a serem seguidos no projeto de um edifício em lajes planas protendidas, de acordo com o roteiro simplificado abaixo:



4.0 – CONCLUSÃO

Os projetos em lajes planas protendidas devem ser concebidos usando o que a técnica dispõe de forma a resultar em produtividade e economia na execução das estruturas. Uma das maiores vantagens do sistema de lajes planas protendidas é a dispensa de vigas na solução de vãos arrojados e econômicos e seguros. Assim os projetistas devem se preocupar com a correta utilização dos sistemas de contraventamentos associados à rigidez a flexão das lajes, que nos projetos de lajes planas protendidas são de espessura considerável. É claro que estruturas dotadas de poucos elementos rígidos de contraventamento não serão estáveis. Entretanto, através da boa técnica, da criatividade, e, contando com os recursos computacionais sofisticados hoje disponíveis para análise estrutural, os projetistas podem projetar estruturas econômicas, seguras, eficientes e bonitas utilizando lajes planas protendidas.

5.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – Fuentes, A., “Edificios Corrientes e de Gran Altura” – Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1980
- 2 – Aalami, B. O., “Effective Width and Post-Tensioning” – PTI Technical Notes – Issue 1/April 1993
- 3 – Fusco, P. B. “Estruturas de Concreto – Solicitações Normais” – Editora Guanabara Dois – Rio de Janeiro - 1981
- 4 – Pórtico – TQS, Manual de Geração e Processamento de Pórticos Espaciais – TQS Informática Ltda. - 2002
- 5 – Hahn, J., “Vigas Contínuas, Pórticos, Placas y Vigas Flotantes sobre Terreno Elástico – Editorial Gustavo Gili – Barcelona – 1982
- 6 – Franco, M. e Vasconcelos A.C., “Practical Assesment of Second Order Effects in Tall Buildings”

Autores do artigo:

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

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