

PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES – DEFORMAÇÕES EM LAJES. Conceituações sobre lajes pré-fabricadas e pré-moldadas resultam em questionamento junto à ABNT.

Vieira, Ruy Campos
Engenheiro civil, CREA 0600.63126-5, IBAPE-SP 276
Rua Israel Vieira Ferreira 125, Jardim Campos Elíseos, Jundiaí, SP, 13209-790
Fone (11) 4521.9539
rcvieira@pericias.com.br
www.pericias.com.br

RESUMO. *A prudente e preliminar observação sobre possíveis origens do dano e suas manifestações; o roteiro investigatório inicial; a preparação e definição sobre a propositura da medida judicial pertinente; o questionamento sobre a utilização de “software” de cálculo estrutural bem como de seus resultados e, na continuidade, análises e aprofundamentos conceituais correlacionados à redação de norma brasileira recém publicada, eventos estes transcorridos concomitantemente ao estudo da patologia exposta, resultam em requerimento e conseqüente questionamento sobre o posicionamento da ABNT a respeito da matéria e conceituações analisadas.*

Palavras-chave: Perícia, Patologia, Laje, Flecha, ABNT.

1- INTRODUÇÃO

A análise investigatória sobre o diagnóstico patológico do elemento estrutural aqui tratado, conhecido e popularmente denominado como “*laje pré*” ou laje pré-fabricada, apesar da aparente insignificância que tal terminologia possa representar no meio acadêmico-científico e até mesmo no seio da população em geral, resultou, ao longo de quatro anos de estudos e acompanhamentos, em interessante roteiro de trabalho e procedimentos complementares que merecem ser compartilhados entre profissionais, estudantes e demais interessados na perícia técnica de engenharia, particularmente relacionada à patologia das edificações.

Como contribuição à sempre almejada evolução da técnica investigatória na engenharia brasileira e a partir de um aparente e singelo evento – deformação de lajes - poder-se-á acompanhar os diversos desdobramentos e indagações que desafiam o profissional da perícia a cada vez mais se envolver no cerne das matérias abordadas, proporcionando ampliação de horizontes direcionados ao crescimento profissional, independentemente de quais sejam as pressões e obstáculos que, por motivações diversas, lhes são apresentados.

De particular interesse resulta o fato de que no transcorrer do estudo aqui exposto ocorreu a finalização e conseqüente publicação das primeiras normas brasileiras referentes a lajes pré-fabricadas (NBR 14.859), matéria até então não regulamentada pela ABNT, fato este que não se caracterizou como condição limitante ao aprofundamento e extensão das análises, como se fosse uma temática inquestionável ou incontroversa. Muito ao contrário, o caso aqui tratado bem exemplifica uma situação patológica que, se tivesse sido levada à discussão na seara competente, muito provavelmente resultaria em alteração no texto normativo aqui tratado e questionado.

A prudente e preliminar observação sobre possíveis origens do dano e suas manifestações; o roteiro investigatório inicial; a preparação e definição sobre a propositura da medida judicial pertinente; o questionamento sobre a utilização de “software” de cálculo estrutural bem como de seus resultados e, na continuidade, análises e aprofundamentos conceituais correlacionados à redação de norma brasileira recém publicada, eventos estes transcorridos concomitantemente ao estudo da patologia exposta, resultam em requerimento e conseqüente questionamento sobre o posicionamento da ABNT a respeito da matéria e conceituações analisadas.

2- APRESENTAÇÃO DA OBRA E OCORRENCIAS INICIAIS.

No desenvolvimento da presente exposição se tratará da construção de um edifício industrial, constituído de dois pavimentos com dimensões de 32,00 metros de comprimento por 11,25 metros de largura, correspondendo a 360,00 m² de área construída em cada nível.

Sua concepção arquitetônica previu a execução de módulos simetricamente dispostos no sentido longitudinal e vãos livres transversais, de forma a resultarem dois amplos salões sem quaisquer estruturas intermediárias representadas por pilares ou alvenarias intervenientes, sendo prevista a utilização de compartimentos internos definidos por divisórias modulares. Especificamente em relação às lajes de piso e cobertura – elementos estruturais que efetivamente interessam à presente análise – o projeto estrutural dimensionou solicitações de carga de 500 Kgf/m² e 120Kgf/m² para as lajes de piso e cobertura, respectivamente, além de especificar a condição de apoio simples em vigas de borda, armadura na menor direção e concreto com Fck= 18 MPa.

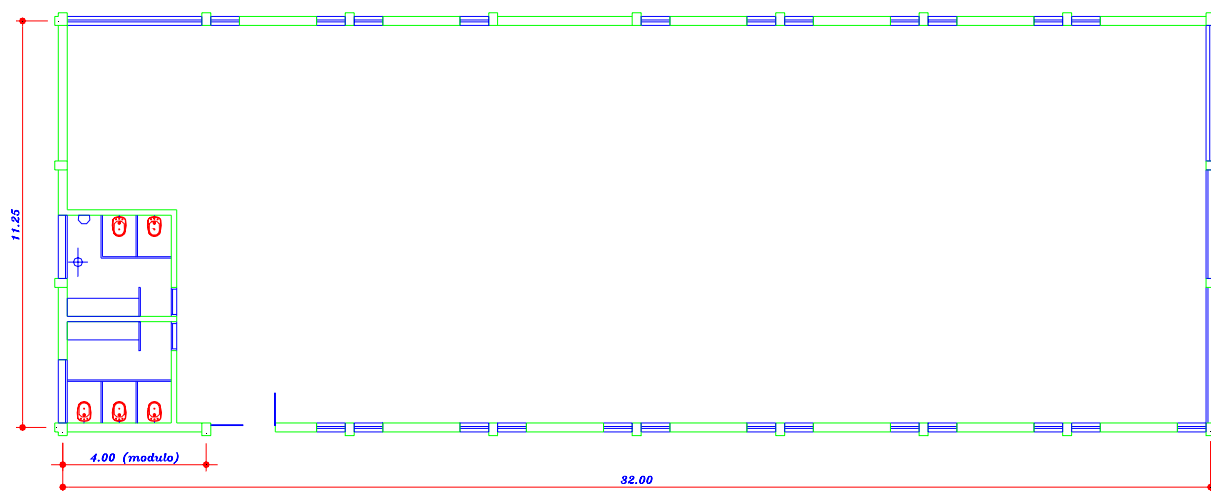


Figura no.1 : modulação e dimensões do pavimento padrão.

A partir das especificações de projeto e dentro das alternativas disponibilizadas no mercado, optou-se pela utilização de lajes pré-fabricadas, constituídas por vigotas treliçadas e elementos intermediários de EPS (isopor), comumente denominadas “lajes treliçadas”.

No caso tratado, o fornecedor, mediante as solicitações de projeto, especificou as lajes adequadas à solicitação do cliente, dentro de sua normal linha de produção e comercialização, ocasiões em que foram adquiridas laje de piso, com altura $\beta=35$ cm e carga de 500 Kg/m^2 e laje de cobertura, com altura $\beta=30$ cm e carga de 150 Kg/m^2 .

Ambas as lajes foram previamente vistoriadas quando da conclusão de seus escoramentos e montagem e liberadas à concretagem após a também checagem das armaduras complementares.

As primeiras manifestações e danos ao prédio analisado tiveram seu início quando do princípio da efetiva ocupação do pavimento térreo, estando o pavimento superior em fase de conclusão de revestimentos e instalações especiais.

Tais ocorrências foram observadas no pavimento térreo, quando do princípio de esmagamentos das divisórias internas resultantes da deformação da laje de piso do pavimento superior.

Tomadas de imediato as providências necessárias a serem garantidas a segurança dos ocupantes, equipamentos e da própria estrutura, mediante a utilização de escoramentos metálicos, inclusive no pavimento superior, suportando-se as cargas da laje de cobertura, iniciaram-se os trabalhos investigatórios direcionados à obtenção do diagnóstico das ocorrências, suas possíveis origens bem como viabilidades de solucionamento, tendo em mente tratar-se de obra nova e parcialmente ocupada.

À frente, no Anexo No. 01 é apresentado memorial fotográfico ilustrando as ocorrências aqui tratadas bem como os procedimentos e desenvolvimento das ações posteriores.

3- PROCEDIMENTOS, LEVANTAMENTOS E DIAGNÓSTICOS.

Devidamente escoradas as duas lajes e concomitantemente à coleta de informações, projetos, relatórios, ensaios e demais documentos de interesse à análise, procedeu-se ao levantamento e cadastramento das anomalias de forma a serem identificadas todas as manifestações patológicas, bem como suas conformações.

Ilustra-se nas Figuras que se seguem a visualização esquemática das quatro fachadas do prédio, onde se procedeu ao cadastramento de todas as fissuras manifestadas em suas faces externas.

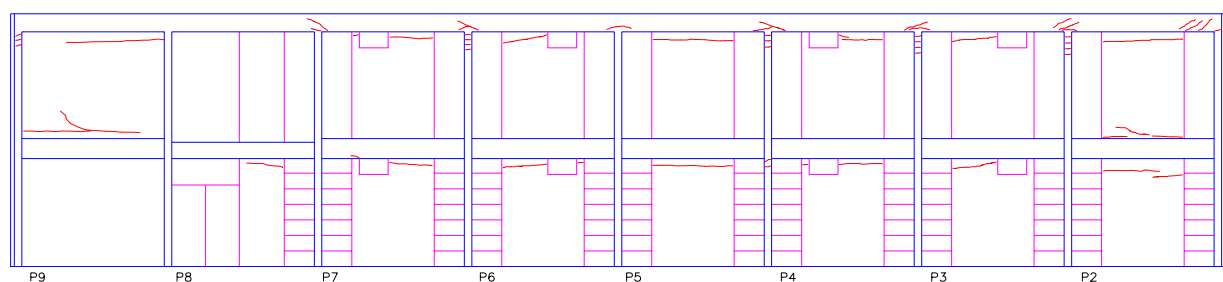


Figura no. 2: fachada Sul.

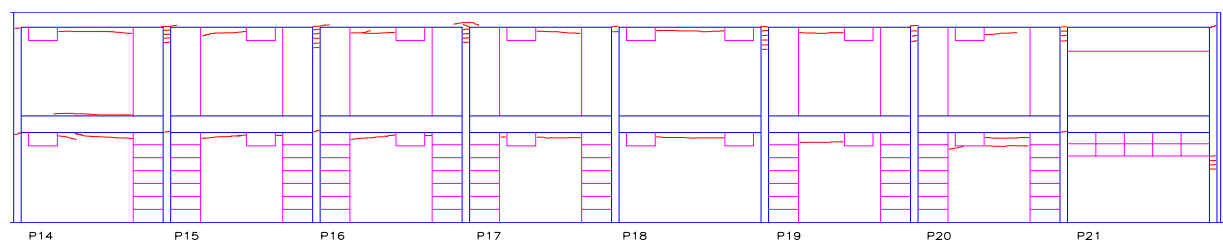


Figura no. 3: fachada Norte

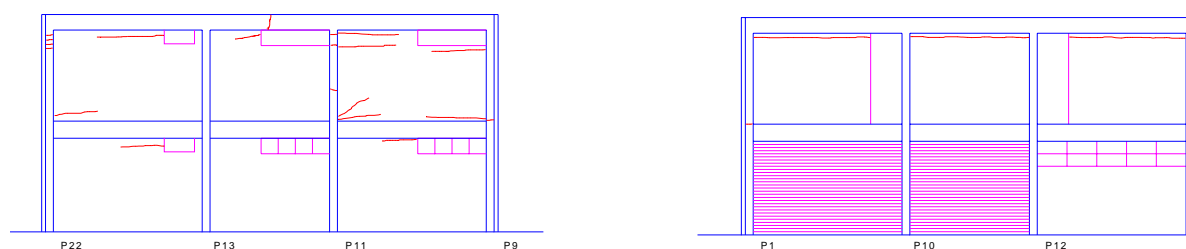


Figura no. 4: fachadas Oeste e Leste

Através da conformação das fissuras anotadas evidencia-se a ocorrência de esforços de torção aplicados sobre as vigas de borda bem como de tração em topo de pilares, decorrentes das deformações excessivas (flechas) a que as duas lajes foram submetidas.

Procedeu-se também à escarificação de áreas concretadas objetivando a coleta de dados referentes aos elementos constituintes das lajes e demais aspectos construtivos (espessura de capa, checagem e condições de envolvimento das armaduras das vigotas treliçadas, possível ocorrência de vazios, etc.) bem como mensuração das deformações a que foram submetidas as duas lajes analisadas.

Neste específico levantamento¹, obteve-se no meio do vão, flechas de 4,7cm para a laje de piso e 9,1 cm para a laje de cobertura, deformações estas ilustradas esquematicamente nas figuras que se seguem.

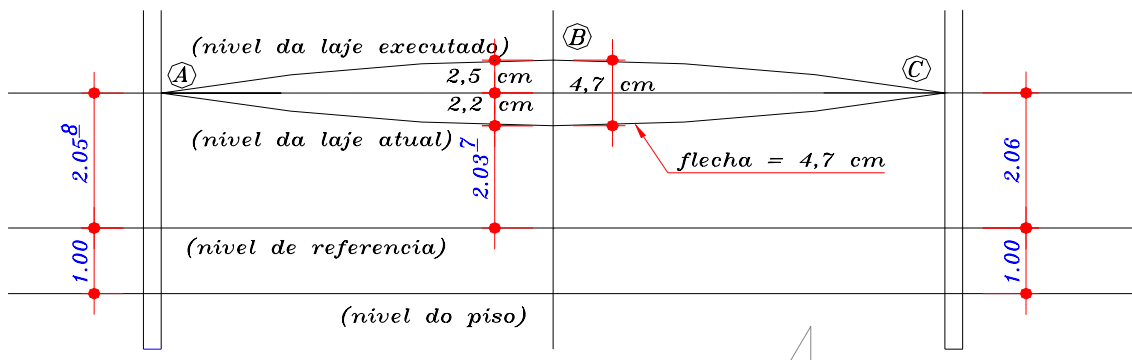


Figura no. 5: Laje de piso – deformação anotada (flecha = 4,7 cm).

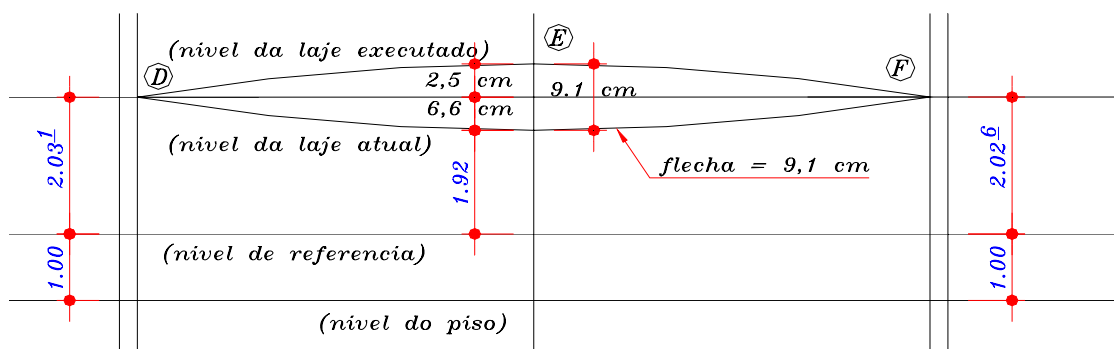


Figura no. 6: Laje de cobertura – deformação anotada (flecha = 9,1 cm)

¹ Consideradas as contraflechas construtivas de 2,5 cm.

A seguir, é ilustrado (exageradamente) o comportamento da estrutura após as solicitações dos esforços resultantes das deformações das lajes: rotação das vigas de borda associadas à tração nos pilares.

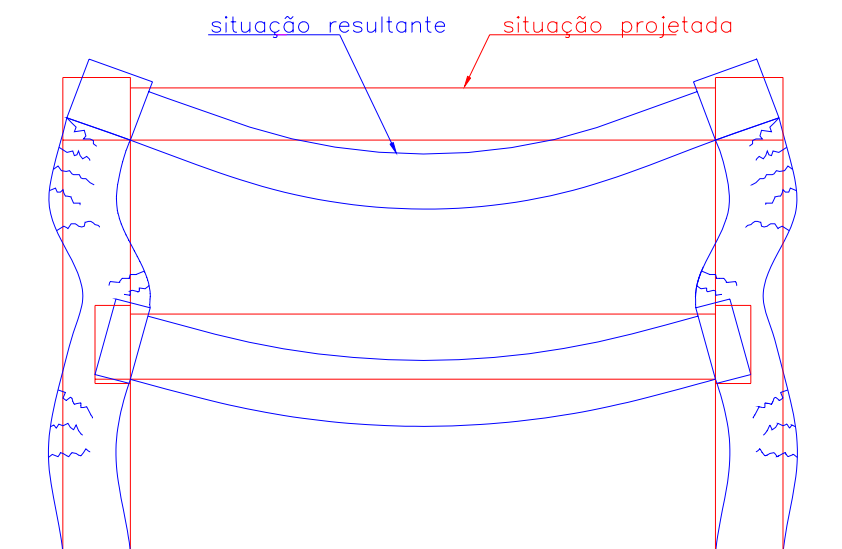


Figura 7: comportamento da estrutura após deformação das lajes.



Figura No. 8.

Para que se possa melhor avaliar a magnitude dos esforços rotacionais a que as vigas foram submetidas, apresenta-se ao lado na Figura No. 8 uma reprodução fotográfica onde se ilustra o deslocamento da viga de borda da cobertura do pavimento superior, mensurado a partir do alinhamento de régua metálica alinhada à face externa do pilar adjacente. Observa-se no topo do pilar, junto à viga de borda da cobertura, o deslocamento decorrente da deformação da laje, proporcional à espessura de uma carteira de cigarros bem como as fissuras resultantes de tracionamento na face externa do pilar. Importante se faz observar que, não estando o segundo pavimento concluído e ocupado, a laje de piso sequer chegara a ser efetivamente solicitada em sua carga de projeto, enquanto que a laje de cobertura, a qual sofrera a maior deformação no meio do vão, não recebera qualquer sobrecarga, visto que fora previsto e executada cobertura de telhas metálicas autoportantes, as quais não descarregam qualquer solicitação direta sobre a laje.

Portanto, de imediato, evidenciava-se o diagnóstico sobre as ocorrências: deformações excessivas das lajes.

E na seqüência investigatória, a indagação: por que fletiram?

De posse de todo o material coletado, diretamente relacionado ao evento analisado – deformação de lajes – teve início a investigação pormenorizada de todas as possíveis causas que pudessem haver contribuído para a manifestação dos danos.

Nesta etapa inicial, merece registro o fato do prédio analisado dispor de detalhado histórico sobre sua evolução, consubstanciado pela existência de completos e detalhados projetos, relatórios de campo bem como extenso memorial fotográfico produzido durante toda a obra.

Desta forma, foram analisados todos os projetos estruturais da obra periciada, verificados os relatórios referentes aos escoramentos e montagem das lajes, assim como suas armaduras complementares, os relatórios das concretagens assim como os resultados dos ensaios de controle de qualidade do concreto fornecido bem como as condições em que se desenvolveu o processo de cura e posterior desforma das lajes.

Examinado o material disponibilizado para checagem e estudo restara, a final, o exame da memória de cálculo referente ao dimensionamento das lajes fornecidas.

Apesar do empenho não foi possível, à época, a obtenção de tal material junto ao fornecedor das lajes analisadas, o qual limitara-se a informar que tal dimensionamento fora efetuado mediante a utilização de *software* específico, sem contudo informar maiores detalhes sobre o mesmo, sua procedência e fundamentações.

Evidenciava-se portanto a necessidade de abertura de mais uma vertente investigatória na análise objetivada: a verificação sobre o dimensionamento estrutural das lajes fornecidas.

4- ENQUADRAMENTOS NORMATIVOS.

4.1- Pressupostos iniciais.

Inicialmente, é necessário que se esclareça que à época da ocorrência dos eventos aqui descritos (final de 1998), encontrava-se em andamento no âmbito do Comitê Brasileiro CB2, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e mais especificamente, a cargo da então comissão CE 02:107.01-001, os estudos que objetivavam a elaboração da norma brasileira referente a laje pré-fabricada.

Desta forma, toda e qualquer análise que fosse objeto dos estudos investigatórios teriam, por princípio, que se valer de normas técnicas então vigentes, onde mereceram destaque especial as normas NBR 6118 – *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado* (antiga NB1) e NBR 6119 – *Cálculo e Execução de Lajes Mistas*.

Em sendo assim, caso pretendêssemos considerar a laje analisada como “*laje mista*” haveria que ser previamente atendida a condição referenciada no artigo 5.1.5 da NBR 6619², o que não é o caso uma vez que o elemento intermediário EPS (isopor) não atende ao requisito de resistência à compressão para que estas lajes possam ser calculadas como lajes mistas.

Tais lajes se comportam como lajes nervuradas, armadas em uma só direção e simplesmente apoiadas, razão pela qual devem obedecer aos pressupostos contidos na NBR 6118 (obras de concreto armado).

² Artigo 5.1.5: “Resistência dos elementos intermediários: A resistência à compressão dos elementos intermediários, avaliada através do valor médio de pelo menos três ensaios, não deve ser inferior a 12 MPa, referida à seção transversal bruta (sem desconto dos vazios)”.

4.2- Necessidade de verificação das flechas.

Em conformidade com o disposto na NBR 6118 – *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*, item 4.2 3.1

*“em vigas de seção retangular ou T e lajes maciças retangulares de edifícios serão consideradas atendidas as condições a e b e dispensar-se-á o cálculo das flechas quando a altura útil d não for inferior ao valor : $L / (\Psi 2 * \Psi 3)$, devendo-se tomar para $\Psi 2$ e $\Psi 3$ os valores abaixo (nas lajes armadas em cruz, L é o menor vão). Em qualquer caso, deverão ser respeitados os limites do item 6.1.1.1”.*

Para lajes nervuradas , armadas em uma só direção e simplesmente apoiadas, temos:

$$d \geq L / (\Psi 2 * \Psi 3) .$$

Lajes armadas em uma só direção e simplesmente apoiadas: $\Psi 2 = 1,0$

Em vigas e lajes nervuradas: para CA 50, $\Psi 3 = 17$ e para CA 60, $\Psi 3 = 15$

No caso analisado o vão das lajes L é de 11,25 m.

Assim temos:

$$d \geq 11,25 / (1,0 * 17) = 0,66 \text{ m (CA 50)}$$

$$d \geq 11,25 / (1,0 * 15) = 0,75 \text{ m (CA 60)}$$

Conclusão: as lajes em questão apresentam altura útil de 0,285 m (laje de cobertura) e 0,335 m (laje de piso), não atendendo portanto à dispensa de cálculo de flechas prevista na NBR 6118. Disto resulta a efetiva necessidade de serem verificadas as limitações das deformações.

4.3- Calculo das flechas.

Em sendo obrigatória a verificação e calculo das flechas e em se tratando de lajes nervuradas, armadas em uma só direção, simplesmente apoiadas, o cálculo de acordo com a NBR 6118, item 4.2.3 – Estado de Deformação Excessiva, deverá levar em consideração a deformação lenta.

Em conformidade com o item 4.2.3.1...

“a determinação das deformações das peças fletidas deverá ser feita considerando-se apenas o Estádio II para barras, permitindo-se o Estádio I para lajes, podendo-se proceder de acordo com os itens seguintes A e B”.

As lajes nervuradas armadas em uma só direção são compostas por uma série de nervuras (barras), de onde se conclui que o cálculo das flechas deverá ser feito no Estádio II.

De acordo com o item 4.2.3.1 da NBR 6118

“A- Ações de curta duração:

Quando a deformação lenta for nula ou desprezível, por serem as ações de curta duração, o módulo de deformação E_c a adotar é o módulo secante do concreto, suposto igual a 0,9 do módulo na origem dado no item 8.2.5.

B- Ações de longa duração:

Para levar em conta o efeito da deformação lenta, permite-se avaliar a flecha final devido às ações de longa duração, aplicadas logo após o término da construção, como o produto do valor da flecha imediata respectiva pela relação das curvaturas final e inicial na seção de maior momento, calculadas através de:

$$1/r = (I \epsilon_c I + \epsilon_s) / d$$

fazendo ϵ_c final igual a três vezes o valor de ϵ_c inicial e ϵ_s constante e igual ao seu valor inicial. No caso de ações de longa duração, aplicadas seis meses ou mais após a concretagem, ϵ_c final pode ser tomada igual a duas vezes o valor inicial.

C- Em estruturas de edifícios:

Nas vigas e nas lajes das estruturas de edifícios deverão ser obedecidas as seguintes limitações, com as ações de acordo com 5.4.2.2:

- a) as flechas medidas a partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não ultrapassarão 1/ 300 do vão teórico, exceto no caso de balanços, para os quais não ultrapassarão 1 / 150 do seu comprimento teórico.
- b) o deslocamento causado pelas cargas acidentais não será superior a 1/ 500 do vão teórico e 1 / 250 do comprimento teórico dos balanços”

Considerando-se as sobrecargas de projeto (120 Kgf/m² e 500 Kgf/m²), as dimensões das lajes (L=11,25m, β 30 e β 35), as armaduras por nervura (levantadas “*in loco*”), o concreto utilizado (18 Mpa) e verificação de flechas no Estádio II, foram obtidas para as lajes analisadas as seguintes deformações totais⁽³⁾:

- laje de cobertura: 13,29 cm
- laje de piso: 9,64 cm

Em conformidade com o disposto no item 4.2.3.1, alínea “c” da NBR 6118, no caso tratado, a limitação dada pela flecha limite (a_{lim}) é calculada como:

$$a_{lim} = L / 300 = 1125 / 300 = 3,75 \text{ cm}$$

Verifica-se portanto que nas duas lajes analisadas as flechas totais calculadas alcançam valores sensivelmente superiores ao da flecha limite preceituado pela NBR 6118, o que de imediato conduz à conclusão de que as lajes fornecidas encontram-se subdimensionadas.

Confirmam-se portanto as evidências anteriormente observadas, quando se verificou que a laje de piso sofrera sensível deformação antes mesmo de receber seu total carregamento de projeto, vez que o pavimento superior não recebera sua carga de trabalho por sequer estar concluído enquanto que a laje de cobertura deformara-se pela simples solicitação de seu peso próprio.

A partir de tais evidências e ante a impossibilidade de se obter do fornecedor das lajes respostas e procedimentos direcionados à solução dos eventos relatados, foi proposta pela empresa proprietária do prédio, medida judicial cautelar de Produção Antecipada de Provas, de maneira a serem documentadas e oficializadas as ocorrências constatadas, as relações de causa e efeito bem como as respectivas responsabilidades para que, a partir de tais procedimentos, se permitisse a continuidade do empreendimento objetivado.

⁽³⁾ NBR 6118, item 5.4.2.2

5-PRODUÇÃO DA PROVA PERICIAL.

5.1- Desenvolvimento.

Proposta a medida cautelar necessária à produção e oficialização da prova pericial, com a mais ampla participação dos interessados – consumidor, fornecedor, bem como do calculista responsável pelo dimensionamento das lajes estudadas - foram viabilizadas todas as verificações e análises que pudessem, direta ou indiretamente, contribuir para perfeita apreciação dos eventos noticiados bem como de suas efetivas origens.

Assim se procedeu, no curso da prova pericial determinada em Juízo, às verificações do material técnico previamente ofertado na propositura da ação bem como demais investigações pertinentes.

Obviamente que em se tratando de deformação de lajes pré-fabricadas, fornecidas segundo especificações originárias de projetos estruturais específicos, estes, sendo oferecidos ao exame judicial, puderam ser criteriosamente checados bem como seus pressupostos, de forma a serem averiguadas as possibilidades de eventual subdimensionamento.

Dentre as hipóteses levantadas no curso da medida cautelar proposta, com vista à averiguação dos eventos tratados, cuidou-se também de se proceder à extração de corpos de prova necessários aos ensaios de resistência do concreto aplicado bem como de sua performance final. Para tanto, foram contratadas duas das mais conceituadas instituições de análises laboratoriais brasileiras, cujos ensaios concluíram pela efetiva resistência especificada em projeto.

O reexame do projeto estrutural, o cálculo dos esforços solicitantes, o dimensionamento e detalhamento de vigas e pilares, ao serem analisados conforme o comportamento das estruturas, mesmo em se considerando as condições de engaste parcial nas vigas⁽⁴⁾ concluiu pela sua suficiente resistência, inclusive com alguns elementos apresentando certa folga de reserva de segurança para resistir aos esforços solicitantes das lajes analisadas, sob as duas condições de apoio.

5.2- Concepção e dimensionamento das lajes analisadas –aparentes pressupostos.

No curso da perícia desenvolvida na ação cautelar de produção antecipada de provas é que efetivamente se viabilizou a mais abrangente oportunidade para serem detidamente analisados os cálculos estruturais referentes ao dimensionamento das lajes fornecidas bem como as verificações de suas flechas, vez que sua pertinência e necessidade já foram suficientemente esclarecidas.

Nesta etapa investigatória foram apresentadas pelos responsáveis pelo dimensionamento e fabricação das lajes, reproduções impressas de listagens oriundas de “*software*” de cálculo estrutural, onde, sobre as mesmas se procedeu a anotações manuscritas.

Do exame do material ofertado à análise pericial verificou-se que as listagens impressas referentes às memórias de cálculo eram originárias de “*software*” específico, desenvolvido pelo próprio fabricante, não disponibilizado comercialmente, razão pela qual restou prejudicada a completa verificação de suas conceituações e pressupostos, bem como os enquadramentos normativos considerados. Recorde-se que à época da aquisição e fornecimento das lajes analisadas a norma brasileira sobre laje pré-fabricada ainda se encontrava em fase de elaboração.

⁽⁴⁾ Prevista originariamente a condição de apoio simples nas vigas de borda

Em contrapartida, o expediente utilizado, ao se proceder a anotações manuscritas sobre relatório impresso – em equipamento matricial – já desperta no profissional habituado à prática do exercício pericial, a predisposição à continuidade e extensão investigatória, vez que em se tratando de cálculo estrutural, tal procedimento seria totalmente dispensável.

5.3- Exame e detalhamento de memórias de cálculo. Flecha limite.

A Figura no. 9 reproduz, parcialmente, trecho extraído da memória de cálculo apresentada pelo fabricante das lajes ao perito judicial nomeado no feito, especialmente aquela relacionada ao cálculo e verificação da flecha da laje de cobertura do prédio periciado. Optou-se pela reprodução da memória de cálculo desta laje pelo fato de tal material permitir o mais abrangente e didático desenvolvimento sobre os fundamentais pontos de interesse aos diagnósticos analisados.

$$= 5 \times (40 - 10)^2 + 2 \times 15.00 \times 2.49 \times 29.0$$
 Para equilíbrio das equações $x = 6.61 \text{ cm}$ LINHA NEUTRA

$$I = bf \frac{(hf)^3}{12} + bf hf (x - .5 hf)^2 + (bw / 3) (x - hf)^3 + n As (d - x)^2$$

$$I = (40 \times 5 / 12) + 40 \times 5 \times (6.61 - .5 \times 5)^2 + (10 / 3) \times (6.61 - 5)^3 + 15 \times 2.49 \times (29 - 6.61)^2$$

$I = 22503 \text{ cm}^4$ MOMENTO DE INERCIA NO ESTADIO II

Carga permanente = Carga total - sobrecarga

Carga permanente = 1.637 - 0.280 = 1.357 (kg/cm/nerv)

$kx = y1 / (c + d - s) \quad kx = 6.610 / (25 + 5 - 1.0)$
 $kx = 0.228$ (no ESTADIO II)

Carga c/ fluencia = $(1 + (2 \times kx)) \times$ carga permanente + $(0.2 \times$ sobrecarga)

$$\text{FlechaTot} = \frac{5.00}{384} \times \frac{\text{carga c/ fluencia} \times \text{vao}^4}{E \times Ix} = 6.80 \text{ cm}$$
 flecha total

$$\text{FlechaSc} = \frac{5.00}{384} \times \frac{\text{sobrecarga} \times \text{vao}^4}{E \times Ix} = 0.94 \text{ cm}$$

$E = 21000 \times (\text{RAIZ}(fck \times 10 + 35)) \times .9 = 277128.4 \text{ kg/cm}^2$
 $Ix = 22503 \text{ cm}^4$
 $Es/Ec = 15.00$

CONTRAFLECHA

DE ACORDO C/ A NBR 9062 ITEM 5.2.5.1.C (ELEMENTOS DE COBERTURA)

$$\text{flecha maxima} = \frac{L}{200} = 5.63 \text{ cm} \left(\frac{1125}{200} \right)$$

SE FIZERMOS $6.80 - 5.63 = 1.17 \text{ cm}$

FOI PEDIDO CONTRAFLECHA = 1.50 cm

Figura No. 9: reprodução parcial da memória de cálculo da laje de cobertura.

Como primeira observação é de se ressaltar, no exame do relatório resultante do programa de cálculo estrutural, a inadmissibilidade do aporte de anotações manuscritas para indução, esclarecimento ou justificativa sobre pressupostos adotados. A não ser que o programa de cálculo utilizado seja tão desatualizado e incompleto que se faça necessário tal expediente elucidativo.

Da observação da Figura No. 9 verifica-se que o programa utilizado concluiu, no dimensionamento da laje tratada (cobertura), pela flecha total de 6,80 cm.

Independentemente de qualquer outra análise mais robustecida por conhecimentos específicos já nos é possível imaginar as possíveis conseqüências advindas para uma laje com 11,25 metros de vão livre, ao ser submetida a deformação de 6,80 cm no meio do vão.

Todavia, o maior atentado à análise objetivada está contido no esclarecimento manualmente acrescentado sobre o cálculo de verificação das flechas. Observa-se a intencional inversão de conceitos e procedimento ao se anotar, previamente, como título...

“CONTRAFLECHA”.

E na seqüência, a exposição justificativa:

“De acordo com a NBR 9062 item 5.2.5.1.c (elementos de cobertura)

Flecha máxima = $L/200 = 5,63 \text{ cm} (1125/200)$

Se fizermos $6,80 - 5,63 = 1,17 \text{ cm}$

Foi pedido contraflecha = $1,50 \text{ cm}$ ”

O inusitado do exame desta análise chega a ser até certo ponto hilário: o programa, cuja listagem foi analisada, calcula a flecha total em 6,80 cm. Entretanto, não informa se tal deformação é admissível ou não, bem como qual seria seu limite.

Em contrapartida utilizou-se do artifício da contraflecha, sugerida pelo calculista em 1,50cm, como forma de compensar a calculada flecha total, frente àquela que seria a flecha limite.

A rigor, era de se esperar que nesta análise se verificasse a flecha total e seu limite de admissibilidade e não a definição da contraflecha que deveria ser aplicada para minimizar a deformação da laje.

Contraflecha nada mais é do que a execução da forma de um elemento de concreto armado (como uma laje ou viga) não seguindo o plano que liga os apoios, mas sim dando uma curvatura para cima. No caso de lajes simplesmente apoiadas esta curvatura tem sua maior deflexão no meio do vão. Assim estamos somente mudando o ponto inicial da deformação da peça e não diminuindo esta deformação ou modificando sua rigidez, que é a característica que realmente define quanto esta peça irá deformar.

Na continuidade do exame, observa-se ainda a introdução de uma nova conceituação sobre o cálculo da flecha limite.

Aqui, no caso de laje de cobertura, a memória de cálculo analisada, ao contrário do que era esperado, apresenta referência ao item 5.2.5.1.c da norma NBR 9062 85 – *Projeto de Estruturas de Concreto Pré-Moldado* ⁽⁵⁾ e a partir de tal pressuposto, calcula a flecha limite como **L/200**, ou seja (1125/200), resultando na apuração de flecha limite igual a 5,63cm.

⁽⁵⁾ 5.2.5 – Estado Limite de Deformação.

As flechas e contraflechas limites permitidas dependem da utilização do elemento estrutural, considerando separadamente os itens descritos de 5.2.5.1 a 5.2.5.4

5.2.5.1 – Elementos estruturais de cobertura sem contato fora dos apoios, com outros elementos estruturais ou não.

As limitações exigidas são:

Conforme já desenvolvido no item 4.3 anterior, foi apresentado o cálculo da flecha limite das lajes analisadas, tendo como referência o entendimento então vigente à época em que ainda não se encontravam definidas e publicadas as normas técnicas referentes a lajes pré-fabricadas, onde se procedeu em conformidade com o disposto no item 4.2.3.1, alínea C. da NBR 6118 – *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*, antiga NB-1.

Neste aspecto, a limitação dada pela flecha limite (a_{lim}) é calculada como $L/300$, ou...

$$a_{lim} = L / 300 = 1125 / 300 = 3,75 \text{ cm}$$

Conclui-se portanto sobre a ocorrência de flagrante e ostensivo conflito a respeito do longo entendimento sobre as condições limitantes das deformações em lajes pré-fabricadas.

Neste caso a limitação a ser considerada seria $L/200$ ou $L/300$?

6- ENTEDIMENTO CONFORME A ABNT.

6.1- Evolução cronológica.

Como já referenciado no item 4.3 anterior, por ocasião da ocorrência dos primeiros eventos relacionados às lajes aqui tratadas(1998), encontrava-se em curso perante a ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, no então Comitê CB-2 e mais especificamente a cargo da comissão de estudo CE 02:107.01-001, os trabalhos que objetivavam a elaboração das normas técnicas referentes a lajes pré-fabricadas.

Segundo o entendimento desta comissão, desde o início dos trabalhos direcionados à elaboração desta norma e à vista de sua própria concepção – laje nervurada, constituída por vigotas pré-fabricadas, elementos de enchimento, armaduras complementares bem como capa de concreto moldada “*in loco*”, solidariamente à concretagem das estruturas de apoio (vigas de borda e pilares) – a comissão de estudos sempre entendeu que em relação ao cálculo das deformações (flecha) e seus respectivos limites, deveriam ser respeitadas as prescrições da NBR 6118 – *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*, antiga NB-1.

E nem poderia ser de outra forma visto que as lajes pré-fabricadas, montadas e concretadas no local, solidariamente às vigas e pilares e até mesmo possibilitando a situação de engaste, se revestem das mesmas características de monolitismo conferidas às estruturas de concreto armado.

Tal entendimento é sintetizado na leitura de atas e anteprojetos normativos da referida comissão de estudos CE 02:107.01-001, como por exemplo:

- Versão de novembro de 1995 ⁽⁶⁾

3.3- Flecha: limite da deformação vertical estabelecido em cálculo prévio, o qual a laje em serviço não poderá ultrapassar.

- Versão de setembro de 1996 ⁽⁷⁾ :

...
c) de flechas positivas, desde que o elemento tenha inclinação que evite o empoçamento de água:
 $a \leq L / 200$.

⁽⁶⁾ CB 02 – NBR/Projeto, Laje pré-fabricada, Pré-laje Treliçada.

⁽⁷⁾ IBRACON- Proposta de revisão de NBR.

3.3- Flecha- deslocamento vertical máximo do pano de laje. Este valor deverá respeitar os limites prescritos no cap. 13 da NB-1.

- Versão de fevereiro de 1997 ⁽⁸⁾:

3.3 Flecha: deslocamento vertical máximo do plano de laje. Este valor deverá respeitar os limites prescritos no cap. 13 da NBR- 6118.

- Versão de abril de 1999 ⁽⁹⁾:

3.3 Flecha: maior deslocamento vertical do plano da laje. Este valor deverá respeitar os limites prescritos pela NBR 6118.

A conceituação sobre flecha assim como os valores de seus limites permaneceram segundo tal entendimento até mesmo quando os trabalhos desta CE passaram a estar afeitos ao comitê CB-18 da ABNT, agora sob a designação de comissão CE 18:314.01, no ano de 2001 e assim foram entendidos até a fase em que teve início a consulta pública ao projeto 18:314:01-001/1 “Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais”.

Encerrada em 31 de dezembro de 2001 a etapa referente à consulta pública sobre tal projeto de norma, finalmente foi homologada em maio de 2002, com vigência a partir do mês de junho do mesmo ano, a agora definitiva **NBR 14859-1 “Laje pré-fabricada – Requisitos, Parte 1: Lajes unidirecionais”**.

Todavia, da leitura do novo texto normativo verificou-se que, especificamente, no item relacionado à flecha, resultou significativa alteração em relação ao longo entendimento anterior quando, em relação ao artigo 3.3 de referida norma, assim restou consignado:

3.3 flecha: Maior deslocamento perpendicular ao plano da laje. Este valor deve ser calculado conforme a NBR 6118 e deve respeitar os limites prescritos pela NBR- 9062.

(Obs.: os grifos são nossos).

Enquanto anteriormente as limitações das flechas das lajes pré-fabricadas estavam referenciadas às preceituações da norma NBR 6118 – “Projeto e execução de obras de concreto simples, armado e protendido” (antiga NB1) agora, com a introdução de tal inovação, as limitações passaram a ser aquelas consignadas na norma NBR 9062/85 – “Projeto de Estruturas de Concreto Pré-Moldado” .

A título de curiosidade, esclarece-se que o início da vigência da nova norma NBR 14859-1 (junho de 2002) é praticamente coincidente com a data da sentença homologatória da ação judicial de Produção Antecipada de Provas (10 de julho de 2002) aqui mencionada, proposta em junho de 1999.

O resultado do procedimento noticiado já permitirá uma visualização de suas futuras implicações a partir da simples correlação com as análises já apresentadas neste trabalho.

Verifica-se que importante e fundamental condição limitante, diretamente relacionada à segurança e estabilidade das estruturas, no caso, lajes pré-fabricadas, foi, a despeito da ausência de qualquer fundamentação, experimento, ensaio, embasamento técnico e mais ainda, sem qualquer discussão mais abrangente no âmbito interno da própria Comissão de Estudos⁽¹⁰⁾, alterada de forma a contrariar o longo entendimento de que os limites das flechas em lajes pré-fabricadas sejam aqueles prescritos pela norma NBR 6118.

⁽⁸⁾ Comissão CE :107.01-001 (Ata)

⁽⁹⁾ Comissão CE :107.01-001 (Ata)

⁽¹⁰⁾ Relatório da Consulta Pública do projeto 18:314.01-001/1, datado de 11 de janeiro de 2002, apurou apenas 5 votos.

6.2- Resultados decorrentes do texto aprovado – item 3.3 da norma NBR14859-1.

Ao serem injustificadamente alteradas as condições limitantes aplicadas às deformações das lajes pré-fabricadas no texto normativo referenciado, resultaram interpretações pouco fundamentadas ou até mesmo equivocadas sobre a concepção e comportamento destas estruturas.

Conceber que lajes pré-fabricadas possam ser relacionadas a estruturas de concreto pré-moldado, de maneira a considerar que os limites de suas deformações sejam aqueles prescritos pela norma NBR 9062 (estruturas de concreto pré-moldado) enquanto que os cálculos sejam os preceituados pela NBR 6118 (antiga NB1) é, no mínimo, curioso e intrigante, de forma a estimular a ampliação do universo investigativo desta análise pericial.

Nesta mesma tônica de análise e entendimento convergiu uma das maiores autoridades em calculo estrutural e normalizações brasileiras, recentemente homenageada como tema central do “V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto”, realizado em junho do corrente ano, o Prof. Dr. Péricles Brasiliense Fusco quando, ao analisar as mesmas lajes aqui tratadas, mui bem sintetizou e esclareceu a inconsistência e equívoco de tais conceituações⁽¹¹⁾:

“Relacionar as lajes pré-fabricadas à Norma NBR 9062 não parece ser o caminho mais adequado para essa finalidade, uma vez que as vigotas pré-fabricadas não irão participar da construção como peças estruturais, mas apenas farão parte das lajes, como simples material de construção, como acontece com os elementos de enchimento, as armaduras complementares e a capa superior de concreto.

Para que uma estrutura possa ser considerada como pré-moldada ou mesmo como estrutura mista, ou seja, constituída parcialmente de elementos pré-moldados e elementos moldados no local, é preciso que nela exista o conceito de ajuste de colocação das peças, como definido pelo item 3.1 da NBR 9062.

Na verdade, as chamadas lajes pré-fabricadas são, de fato, lajes que contêm vigotas pré-fabricadas.

A interação dessas lajes com o restante das estruturas tem todas as características existentes na interação das lajes maciças com o restante das estruturas comuns de concreto armado.

Não cabe portanto a idéia de que a verificação da segurança em relação a deformações máximas das lajes ditas pré-fabricadas deva ser feita como se a estrutura fosse uma estrutura mista, com elementos pré-moldados. De fato é de se estranhar que na verificação do projeto da estrutura em questão seja invocada a NBR 9062.”

⁽¹¹⁾ Fusco, Péricles Brasiliense – “Considerações sobre a verificação da segurança em relação às deformações de lajes”. Relatório-julho/2002.

Neste ponto, já nos é possível antever as possíveis conseqüências resultantes da preceituação introduzida pela redação final da norma NBR 14.859-1, “Laje pré-fabricada – Requisitos, Parte 1: Lajes unidirecionais”, especialmente no que diz respeito às flechas das lajes (item 3.3).

Alem de entendimento totalmente equivocado, resultado da injustificável co-relação entre lajes pré-fabricadas e lajes pré-moldadas, especialmente no que diz respeito ao comportamento estrutural resultante da montagem e execução *in loco*, não se concebe qualquer justificativa que permita assegurar que no cálculo das deformações em lajes pré-fabricadas, possa ser admitida a redução da flecha limite, passando-se de L/300 (NBR 6118) para L/200 (NBR 9062), ou bem assim suas inevitáveis conseqüências: ruína, por deformação da laje pré-fabricada bem como de elementos estruturais de suporte e adjacentes, tal como foi aqui observado.

7- CONCLUSOES.

7.1- Inegavelmente, a utilização de *software* nos projetos e cálculos estruturais constitui, sem sombra de dúvida, em expediente rotineiro na atividade do profissional dedicado à especialidade. Trata-se de importante e fundamental ferramenta de trabalho imprescindível ao cálculo estrutural, principalmente a partir das facilidades de manuseio e interatividade proporcionada pela evolução dos programas nos últimos anos, aliada à crescente redução de seus custos. Todavia, tal facilidade de operacionalização não dispensa o necessário conhecimento e a sempre desejada experiência do calculista estrutural na análise das fundamentações que norteiam a utilização de tais *softwares* bem como seus resultados.

A sofisticação e a rapidez dos cálculos, resultado da utilização de programas que evoluem e se aperfeiçoam a cada dia, merecem serem criticamente avaliadas de forma a serem evitados erros decorrentes de dimensionamentos equivocados, conceituações impróprias, distribuição imperfeita de cargas ou indevida qualificação e caracterização dos materiais.

A este respeito o conceituado professor da Escola Politécnica da USP, Fernando Stucchi, fervoroso crítico da utilização indiscriminada de *software* na elaboração de projetos costuma lembrar que “o computador aumenta a velocidade de fazer as coisas, inclusive a possibilidade de fazer bobagens”⁽¹²⁾.

Devem ser tratadas com devida cautela as listagens de cálculos resultantes do processamento de *software* que por suas características de exclusiva autoria não permitem a identificação e checagem de seus pressupostos. Listagens ou relatórios resultantes de cálculo estrutural devem ser suficientemente claros e conter todas as informações, pressupostos e resultados que permitam perfeita análise ou auditoria.

7.2- Em se tratando de patologia envolvendo elementos estruturais, faz-se necessária a ampla investigação e análise de todos os possíveis eventos e situações que possam ter contribuído, direta ou indiretamente, para a manifestação do dano, sem exclusão de hipótese.

Cotidiana militância na pericial judicial freqüentemente nos apresenta patologias que, ante à impossibilidade de serem reunidos todos os dados e informações pertinentes, são

⁽¹²⁾ Construção São Paulo no. 2577, junho/97, pg. 12, Editora Pini.

diagnosticadas de forma um tanto dúbias, principalmente ante à ocorrência das famosas “*concausas*”. Em não sendo possível serem disponibilizados e analisados todos os projetos, relatórios, memoriais de cálculo, fotográficos e demais elementos de interesse ao exame, via de regra o resultado da investigação resulta em ocorrências que sugerem a combinação de eventos (falta de fiscalização associada à qualidade de materiais de construção; imperícia construtiva com falta de controle de qualidade; falta de detalhamento de projetos e pressões financeiras, são exemplos costumeiros).

No caso aqui tratado, a exaustão da análise investigatória, culminou por resultar, inclusive, no questionamento sobre texto final de norma recém publicada pela ABNT, cujo processo de finalização desenvolveu-se concomitantemente aos trabalhos aqui narrados.

Em sendo exauridas todas as abordagens e considerações diretamente relacionadas à patologia tratada, não se teve dúvida quanto à propositura de questionamento junto à superintendência competente de forma a serem suficientemente aclaradas e rediscutidas, no âmbito da própria ABNT, as ocorrências relatadas, resultantes dos quatro anos em que se desenvolveu o presente estudo pericial. Em 31 de maio do corrente ano, a empresa proprietária do edifício periciado protocolou junto à Superintendência do CB-18 da ABNT, requerimento detalhando as ocorrências co-relacionadas à publicação da norma NBR14859-1, mais especificamente em relação ao teor do item 3.3- *flecha* e solicitando a manifestação de referido Comitê sobre a mesma matéria exposta e detalhada no presente trabalho.

8- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- ABNT, NBR 6.118 - *Projeto e execução de obras de concreto armado.*
- ABNT, NBR 6.119 - *Cálculo e execução de lajes mistas.*
- ABNT, NBR 6.120 - *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.*
- ABNT, NBR 9.062 - *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.*
- ABNT, NBR 13.752 - *Perícias de engenharia na construção civil.*
- ABNT, NBR 14.859-1 - *Laje pré-fabricada – Requisitos, Parte 1: Lajes unidirecionais.*
- FUSCO, Péricles Brasiliense. *Considerações sobre a verificação da segurança em relação às deformações de lajes.* Relatório, julho/2002.
- KISS, Paulo. *Informática – apenas uma ferramenta.* Construção São Paulo, no. 2577, julho/97, Editora Pini.
- MONTOYA, MESEGUER e MORAN. *Hormigón Armado.* Editora Gili S. A.
- PEREIRA, Vitor Faustino. *Manual de projeto de lajes pré-moldadas treliçadas.* Publicação AFALA, janeiro/2000
- SANTOS, Lauro Modesto dos. *Projeto estrutural de edifícios em concreto armado.* FDTE, EPUSP, junho/1983.

CURRICULUM VITAE

RUY CAMPOS VIEIRA

Rua Israel Vieira Ferreira 125, Jardim Campos Elíseos,

Jundiaí, SP, 13209-790

Fone (11) 4521.9539

rcvieira@pericias.com.br

www.pericias.com.br

GRADUAÇÃO: engenheiro civil graduado pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (1977).

ATIVIDADE PROFISSIONAL EMPRESARIAL:

- Sócio e responsável técnico da empresa Grupo Técnico Franco Bueno S/C Ltda.(1978-1981): desenvolvimento de projetos de construção civil, administração e gerenciamento de obras, loteamentos urbanos e rurais, incorporações imobiliárias, avaliações e perícias de engenharia.
- Sócio e responsável técnico da empresa RCV Engenharia e Consultoria S/S Ltda. (2003):

ATIVIDADE PROFISSIONAL AUTONOMA:

- Desde 1978 atua como Perito Judicial nomeado por MM. Juizes de Varas Cíveis do interior e capital do Estado de São Paulo; Perito Judicial junto ao 1º Tribunal de Alçada Cível de São Paulo; elaboração de aproximadamente 1.000 laudos técnicos, acompanhados das correspondentes guias de ART-CREA;
- Consultor de empresas para temas relacionados à engenharia de avaliações e perícias técnicas: avaliação de bens e ativos para incorporações, fusões, garantias hipotecárias e securitárias;
- Assistente Técnico de Prefeituras Municipais do Estado de SP para assuntos relacionados à engenharia de avaliações e perícias de engenharia: desapropriações, acompanhamento em elaboração de plantas genéricas de valores (PGV), avaliações em massa, análises e estudos de viabilidade econômica.
- Membro de comissões técnicas em prefeituras municipais, entidades de classe e comissões de peritos designadas por MM. Juizes; elaboração de normas específicas, banco de dados, avaliações em massa.
- Consultor e Assistente Técnico de Bancas Advocatícias em assuntos relacionados à perícia judicial e engenharia de avaliações;

ENTIDADES DE CLASSE:

- Membro Titular do [Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia - IBAPE](#);
- Vice Presidente da [Associação dos Engenheiros de Jundiaí - AEJ](#) - biênio 2001-2003;
- Integrante do Comitê CB-02 da ABNT na elaboração das Normas NBR14653 - Avaliações de Bens (*em curso*).
- Participação em Congressos Nacionais e Internacionais de perícias e engenharia de avaliações, atuando como relator de comissões técnicas e debatedor em painéis temáticos bem como em mais de duas dezenas de cursos de especialização e seminários.

ANEXO No. 01
MEMORIAL FOTOGRÁFICO



Fotos no. 01 e 02: Primeiras manifestações dos danos. Estando o pavimento térreo efetivamente ocupado, as manifestações iniciais originaram-se no destacamento das molduras dos quadros das divisórias internas, decorrentes da pressão resultante da deformação da laje de piso do pavimento superior.



Foto no. 03: início do escoramento metálico da laje de piso no interior do pavimento térreo.



Foto no. 04: escarificação junto ao fundo de vigota treliçada, entre os elementos de EPS da laje de piso, objetivando a conferência de armadura.



Fotos no. 05 e 06: fissuras em vigas de borda da cobertura decorrentes de esforços rotacionais bem como tracionamento nas faces externas de pilares, combinadas com o deslocamento da alvenaria de fechamento adjacente.



Fotos no. 07 e 08: mesmas ocorrências observadas nas fachadas externas, junto à laje de cobertura.

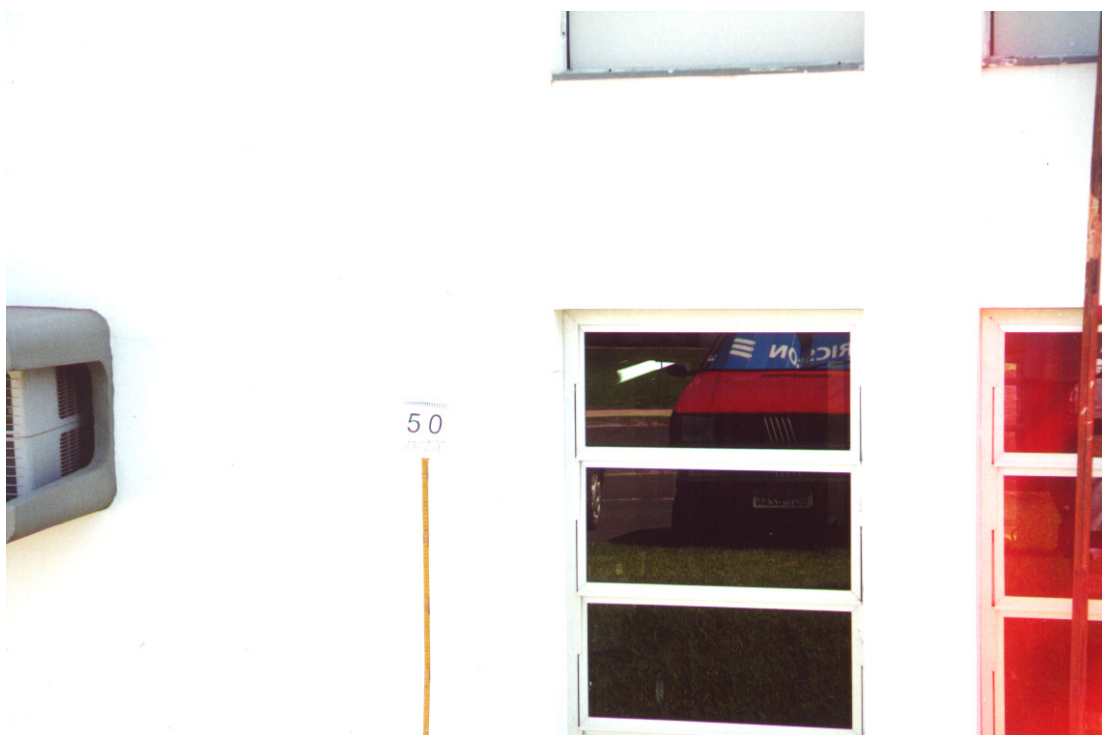


Foto no. 09 e 10: fissuras em alvenaria de fechamento, entre vãos, sob a viga de borda da laje de piso.



Foto no. 11: extração de corpo de prova na laje de piso do pavimento superior (laboratório 1).



Foto no. 12: extração de corpo de prova na laje de piso do pavimento superior (laboratório 2).



Foto no. 13: extração de corpos de prova de concreto nas vigas de borda longitudinais na cobertura e piso.



Foto no. 14: extração de corpos de prova nas vigas transversais, sentido da montagem das vigas de cobertura e piso (armadura pelo menor vão).



Foto no. 15 e 16: extração de corpos de prova nas vigas de borda de piso e cobertura.



Foto no. 17: amostras extraídas em vigas, sendo visualmente constatada a homogeneidade da concretagem executada.