

**XVI COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS. IBAPE/AM**

**PERÍCIA DE ENGENHARIA ENVOLVENDO SOLUÇÃO COM
REFORÇO ESTRUTURAL UTILIZANDO FITA e FIBRA DE
CARBONO**

Resumo

Trata-se da solução de um problema de excesso de deformação em estrutura existente e estável, por ocasião de reforma, quando se verificou que a laje em balanço que sustentava a varanda apresentava deformações excessivas no bordo externo e a laje contígua, na qual o balanço se engastava, apresentava fissuras na sua face superior indicando o princípio da exaustão de sua capacidade resistente. Nesta laje, a elipse de ruptura estava completamente conformada e foi identificada, além de excessiva espessura de contrapiso, uma deformação incompatível com as dimensões da peça estrutural. Iniciou-se um processo judicial, que não prosseguiu, pois o proprietário do apartamento decidiu promover as obras de reforço identificadas como necessárias no laudo prévio apresentado.

PALAVRAS CHAVE: Patologia – Reforço Estrutural – Compósito de Carbono

INTRODUÇÃO

Um apartamento de cobertura em prédio junto à praia apresentou, durante obra de reforma, deformações nas peças estruturais correspondentes ao piso da laje da sala e o piso da varanda contígua incompatíveis com suas dimensões e uso, além de fissuração característica de pré-ruína.

O vizinho do apartamento inferior, que estava incomodado com as obras que vinham ocorrendo na unidade de cobertura, iniciou um Processo Judicial de Nunciação de Obra Nova, notificando o proprietário do apartamento de cobertura. A obra foi embargada. Nesse momento, o proprietário da unidade de cobertura contratou um laudo técnico que apresentasse o diagnóstico e a solução para os problemas existentes, já com a intenção de realizar um acordo judicial.

A vistoria foi realizada e a análise da estrutura indicou que uma falência estrutural localizada, da laje de piso da sala, era iminente, caso providências urgentes não fossem adotadas. Além desse problema existiam ainda outras patologias que foram identificadas no momento da vistoria, tais como um furo indevido em um pilar e um reforço estrutural necessário em uma viga.

Feita a análise, diagnóstico com mapeamento dos problemas, partiu-se para verificar a segurança estrutural da região afetada e se decidiu pelo reforço da estrutura.

Tendo em vista a impossibilidade de acesso ao apartamento imediatamente abaixo, que pertencia ao autor da Ação, que mantinha postura beligerante, impedindo o acesso à face inferior das lajes, todo o trabalho de projeto e execução teve que ser desenvolvido a partir da face superior das lajes, ou seja, na unidade do Réu.

Das alternativas possíveis, foram analisadas as seguintes hipóteses: reforço superior com chapas de aço coladas, reforço superior com perfis metálicos sobrepostos e reforço superior com compósitos em fita de carbono, todas conjugadas com colagem e colmatação das fissuras por adesivo estrutural.

Analisados os prós e contras de cada solução, optou-se por fazer o reforço através do uso de fitas de carbono, associadas a um enchimento da laje com blocos de isopor, para garantir um nivelamento do piso acabado sem sobrecarga representativa permanente.

Tendo em vista a limitação do acesso ao apartamento de baixo, adicionalmente ao reforço, teve que ser indicada uma limitação no uso da estrutura, de modo a compatibilizar as sobrecargas às condições de segurança necessárias.

Outro aspecto que orientou a escolha do método de reforço eleito foi a variável tempo de execução do reforço, pois isto era um fator determinante para a escolha do procedimento executivo de reforço a ser adotado, para se evitarem eventuais agravamentos dos problemas existentes.

Uma vez analisada a questão, foi elaborado um detalhado laudo técnico, contendo toda a listagem das patologias existentes e a solução para sanar os problemas no menor tempo possível. Esse laudo foi apresentado na conciliação e as partes conseguiram chegar a um acordo, tendo o Réu que sanar todos os problemas antes de prosseguir com sua obra internas de reforma. Os serviços de execução foram iniciados e executados em menos de uma semana, atendendo aos requisitos de segurança e velocidade exigidos.

A SITUAÇÃO EXISTENTE

A edificação foi construída em concreto armado há cerca de 20 anos. No apartamento em análise existiam as seguintes patologias:

1 – Fissura próxima ao topo do pilar P7, oriunda de furo com cerca de 15 cm de diâmetro, executado na parte superior do pilar, sem tratamento, que provocou fratura do concreto na região danificada.

O apartamento se constitui de uma cobertura duplex e sobre o pilar danificado estava sendo colocada uma piscina.



Fotos n^{os} 1 e 2: Vistas pelas duas faces.



Foto n^o 3: Vista do pilar danificado com armadura exposta.

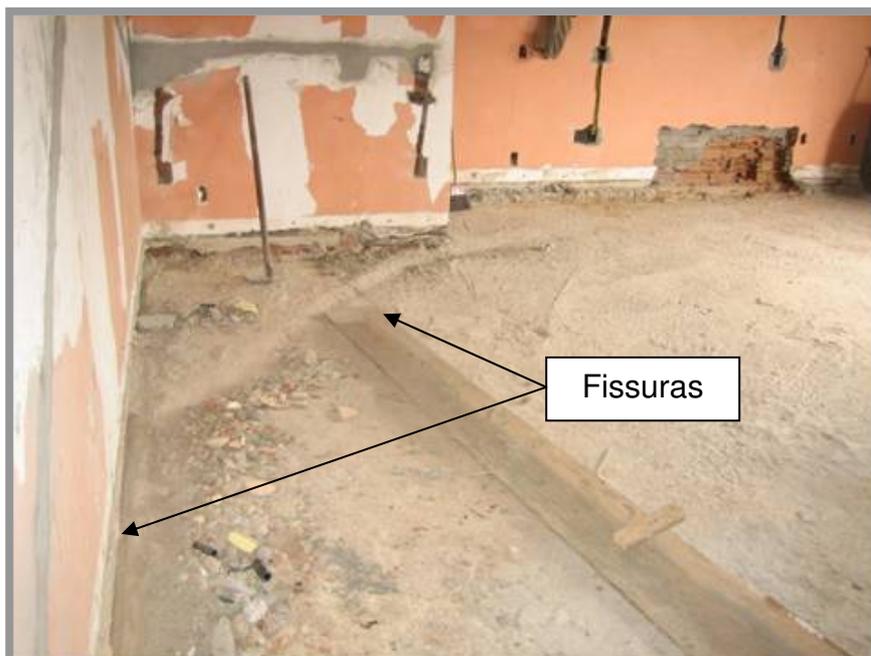
2 – A viga de bordo necessitava de um reforço para colocação de laje apoiada em estrutura metálica.



Fotos n^{os} 4 e 5: Vista da viga que necessitava de reforço para colocação de estrutura metálica.

3 – Fissura localizada no piso da sala, paralela à fachada, negativa, ao longo de toda a periferia da laje, junto ao vão da viga V25. Identificada essa fissura e tendo em vista a deformação existente no local, percebia-se que outras fissuras deveriam existir. Pesquisada a laje, constatou-se a existência de fissuras formando, integralmente, a chamada “parábola de ruptura”, indicando pré-falência estrutural localizada.

A posição das fissuras indicou que um possível excesso de carga associado a uma grande esbeltez provocaram deformação excessiva, indicando pré-falência estrutural localizada.



Fotos nºs 6 e 7: Sala de estar - fissuras no piso formando a “parábola de ruptura”.



Fotos nº 8 e 9: Detalhe das fissuras existentes no piso da sala, formando a “parábola de ruptura”.

4 – O problema existente indicou uma deformação excessiva, pois a deformação limite, segundo as posturas normativas, deveria ser muito inferior a 1 cm. Nas medições realizadas no piso verificou-se a existência de pontos com deformações de até 11 cm.

Para medição e verificação das deformações, realizou-se uma malha no piso da sala e foi executado um levantamento das deformações, conforme demonstra o croqui a seguir, e em cada ponto foi efetuada a medição demonstrada no gráfico.

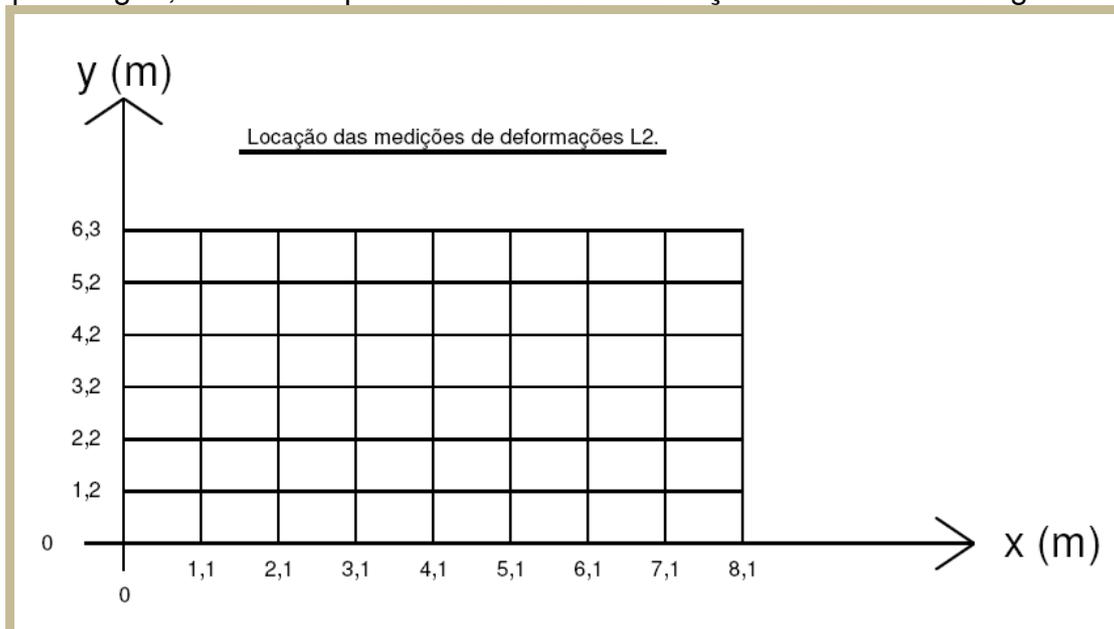


Gráfico demonstrando a malha executada no piso da sala e as locações das medições

X (m)	Y (m)	Z (cm)
0,0	0,0	0,0
1,1	0,0	0,0
2,1	0,0	0,0
3,1	0,0	0,0
4,1	0,0	0,0
5,1	0,0	0,0
6,1	0,0	0,0
7,1	0,0	0,0
8,1	0,0	0,0
0,0	1,2	0,0
1,1	1,2	-2,0
2,1	1,2	-3,0
3,1	1,2	-3,0
4,1	1,2	-3,4
5,1	1,2	-3,0
6,1	1,2	-3,0
7,1	1,2	-2,5
8,1	1,2	0,0
0,0	2,2	0,0
1,1	2,2	-4,5
2,1	2,2	-7,5
3,1	2,2	-8,0
4,1	2,2	-7,5
5,1	2,2	-7,5
6,1	2,2	-5,5
7,1	2,2	-2,3
8,1	2,2	0,0
0,0	3,2	0,0
1,1	3,2	-5,5
2,1	3,2	-9,5
3,1	3,2	-10,0
4,1	3,2	-10,5
5,1	3,2	-9,5
6,1	3,2	-7,0
7,1	3,2	-2,5
8,1	3,2	0,0
0,0	4,2	0,0
1,1	4,2	-5,5
2,1	4,2	-7,5
3,1	4,2	-10,0
4,1	4,2	-11,0
5,1	4,2	-10,0
6,1	4,2	-9,0
7,1	4,2	-2,0
8,1	4,2	0,0
0,0	5,2	0,0
1,1	5,2	-3,5
2,1	5,2	-5,5
3,1	5,2	-6,5
4,1	5,2	-6,5
5,1	5,2	-6,5
6,1	5,2	-3,0
7,1	5,2	-2,0
8,1	5,2	0,0
0,0	6,3	0,0
1,1	6,3	0,0
2,1	6,3	0,0
3,1	6,3	0,0
4,1	6,3	0,0
5,1	6,3	0,0
6,1	6,3	0,0
7,1	6,3	0,0
8,1	6,3	0,0

Tabela de leitura das deformações em cada ponto.



Foto nº 10: vista da fissura existente próxima ao rodapé.



Fotos nº 11 e 12: Deformações de até 11 cm.

VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE

A determinação de resistência do concreto, através do Método Brasileiro de Cravação de Pinos indicou uma resistência do concreto de 17 MPa, superior à especificada em projeto, de 15 MPa.

Desta forma, verificou-se que a laje encontrava-se estável. Considerando-se as cargas prescritas nas Normas Brasileiras e de acordo com o projeto estrutural existente para a referida laje, conclui-se que as armaduras estavam de acordo com o efetivamente necessário, atendendo aos requisitos de segurança prescritos.

A ocorrência da pré-falência ocorreu por carregamento anterior excessivo, que levou à exaustão da capacidade de carga da estrutura.

Isto se confirmou pela verificação, por depoimentos, de que o entulho da demolição de alvenarias e parte do telhado para reforma e ampliação do duplex foram estocados diretamente sobre a laje, em reforma anterior.

SOLUÇÃO ADOTADA – DANO NO TOPO DO PILAR

Para recomposição da parte da estrutura afetada, uma vez que a mesma estava funcionando sem aparentes danos oriundos de deformação excessiva, foi executar a colmatação da fratura por colagem, e posterior grauteamento da parte quebrada, reconstituindo-se a peça estrutural. Para efetivar a consolidação, foi aplicada, por justaposição, uma camada de compósito de fibra de carbono nas duas faces do encontro do pilar P7 com a viga V6.

Uma vez o serviço realizado, foi testado, enchendo-se d'água a piscina, sem que o local apresentasse qualquer indício de fragilidade estrutural ou deformação.



Fotos n^{os} 13 e 14: Fratura no pilar colada e grauteada.



Foto nº 15: Piscina sobre o trecho afetado.



Foto nº 16: Parede sendo apicoada para aplicação de material.



Fotos n^{os} 17 e 18: Pilar sendo reforçado.



Fotos nºs 19 e 20: Pilar sendo reforçado.



Foto nº 21: Vão preenchido.



Fotos nºs 22 e 23: injeção de metacrilato para garantir a solidarização do reforço.

SOLUÇÃO ADOTADA – REFORÇO NA VIGA

Reforço da viga de bordo para colocação de laje apoiada em estrutura metálica.

Foi confeccionada laje em concreto com 10 cm de espessura que foi apoiada na viga do teto da cobertura, com 4 m de vão.

A carga total sobre a viga existente aumentou em:

Carga da nova laje

Peso próprio – $10 \text{ cm} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Enchimento mais acabamento – $7 \text{ cm} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 1,4 \text{ kN/m}^2$

Sobrecarga – 2 kN/m^2

Carga Total – $5,9 \text{ kN/m}^2$

A nova laje ficou com 4 m de largura, ocasionando um acréscimo de carga de $5,9 \text{ kN/m}^2 \times 2 \text{ m} = 11,8 \text{ kN/m}$

Este acréscimo de carga foi considerado insignificante em relação à carga existente. Uma vez que não existe o projeto estrutural correspondente, realizou-se um reforço com uma camada de compósito em fibra de carbono, na região de momento positivo (uma vez que a região de momento negativo é inacessível), controlando-se eventuais deformações posteriormente, para garantir a não formação de rótula plástica.

Adicionalmente, realizou-se uma camada de reforço vertical, em compósito, para auxiliar no combate ao cisalhamento, uma vez que junto ao apoio extremo a laje foi quebrada para a passagem da escada de acesso ao nível superior.



Fotos n^{os} 24 e 25: Preparo da viga para receber o reforço em fibra de carbono.



Fotos nºs 26 e 27: Preparo da viga para receber a fibra de carbono e a fibra recortada recebendo cola para ser aplicada.



Fotos nºs 28 e 29: Viga reforçada com fibra de carbono

POSSIBILIDADES DE SOLUÇÃO PARA CORREÇÃO DA FISSURA NA LAJE DA SALA.

Diversas soluções se apresentaram como possíveis:

A – SOLUÇÕES PASSIVAS – são aquelas em que os materiais de reforço estrutural são adicionados à estrutura existente, sem tensão prévia; eles só passarão a sofrer tensões, e desta forma, passarão a auxiliar no funcionamento da estrutura, se novas deformações ocorrerem.

1 – Colmatação das fissuras com cola estrutural.

2 – Colocação de ferragem adicional no bordo inferior, seja através da colocação de barras de aço, chapas de aço ou compósitos.

B – SOLUÇÕES ATIVAS – são aquelas que introduzem novas tensões na estrutura, atuando independente de haverem deformações adicionais ou não.

1 – Macaqueamento da laje, com justaposição de ferragem em barras redondas, chapas ou compósitos.

2 – Protensão externa, através da colocação de cabos na face inferior da laje.

A SOLUÇÃO ADOTADA PARA CORREÇÃO DA FISSURA NA LAJE DA SALA SOLUÇÃO POR REFORÇO ESTRUTURAL COM FITA DE CARBONO

Uma vez que todas as soluções anteriormente apresentadas, salvo a alternativa de colmatação das fissuras por epóxi, demandariam diversas atividades pelo apartamento do andar de baixo, cujos ocupantes impediam acesso de forma consensual, adotou-se uma solução exclusivamente pelo bordo superior da laje. A primeira providência a partir desta constatação foi a de colmatar as fissuras com adesivo estrutural de baixa viscosidade e promover pequeno reforço junto à viga V25. A laje L2 em questão era uma laje de 8,10 m x 5,30 m de vãos, com dois bordos apoiados, um livre e um semi-engastado.

Nas micro fissuras foi aplicada diretamente cola estrutural - Metacrilato. Este material é um adesivo estrutural com baixíssima viscosidade, que penetra profundamente, mesmo em fissuras da ordem de 0,1mm de abertura, promovendo a monoliticidade do concreto.

Em função de já existir uma demanda judicial, os Réus resolveram arcar integralmente com os custos dos reparos, fazendo-se o reforço pela face superior.

A solução de colagem das fissuras tem se mostrado eficaz, mas como não se conhece precisamente o comprometimento a que a estrutura foi submetida, foi uma solução que auxiliou muito no funcionamento, principalmente na situação existente.



Fotos n^{os} 30 e 31: Aplicação de metacrilato nas fissuras do piso.

Foi adotada Solução passiva com colocação de fitas de carbono.

A fita de carbono foi projetada para ser aplicada de modo rápido nas peças estruturais, a aplicação é semelhante a de mantas de fibra de carbono, executa-se por meio de sulcos na superfície. A fita normalmente possui a dimensão de 2 mm x 16 mm e suas principais vantagens são:

- Não apresenta corrosão;
- Incorporação à armadura;
- Melhor aderência ao substrato, se comparada à fibra;
- Fácil instalação;
- O reforço incorporado é superior ao da utilização de manta de fibra de carbono.

A instalação é simples, necessitando inicialmente se realizar um corte na superfície, com auxílio de uma “maquita”, abrindo-se um sulco de 4 mm de largura por 17 mm de profundidade.

Este sulco deverá ser devidamente limpo, logo após sua abertura. Após a limpeza aplica-se fita crepe nas laterais do sulco. Antes da colocação da fita de carbono, aplica-se no sulco um epóxi estruturante tixotrópico.

A providência de alívio de carga efetuada na laje L2, através da remoção de todo o contrapiso em argamassa foi uma medida que propiciou um importante alívio de carga e conseqüente redução das tensões na região.

A carga da argamassa existente, que foi removida, foi avaliada em 2 kN/m², correspondendo a um valor superior ao da carga de utilização prevista na NBR-6.120, devido a suas dimensões. Assim, as providências tomadas para a conclusão da obra foram:

1 – Nivelamento do piso da laje com placas de isopor.

2 – Justaposição a este enchimento por camada de argamassa aramada (tela para consolidação) com espessura inferior a 2 cm.

3 – Execução do acabamento de piso (placas em mármore, com espessura total de massa de fixação inferior a 2 cm.

4 – Durante todo o restante da obra, a laje L2 foi monitorada verificando-se seu comportamento quanto a abertura de eventuais novas fissuras e quanto ao aparecimento de deformações adicionais às existentes, fato que não ocorreu.

Após a execução, sugeriu-se a manutenção do monitoramento efetivo pelo prazo de 90 dias, realizado e que indicou, a não ocorrência de novas fissuras ou deformações.

5 – Adicionalmente foi recomendado que a carga de utilização nesta laje fosse reduzida para 1 kN/m², evitando-se concentração de cargas, como: grandes vasos com plantas, esculturas e outras cargas concentradas.



Fotos n^{os} 32 e 33: Abertura dos sulcos na superfície nos locais para colocação da fita com aplicação de epoxi.



Fotos nºs 34 e 35: Abertura dos sulcos na superfície nos locais para colocação da fita com aplicação de epoxi.



Fotos nºs 36 e 37: Aplicação do epóxi nos sulcos executados para colocação da fita de carbono.



Fotos n^{os} 38 e 39: Fita instalada e fechamento dos sulcos.



Foto nº 40: Fita instalada e fechamento dos sulcos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O resultado do presente trabalho espelha o que vem se demonstrando cada vez mais: a durabilidade e o desempenho das edificações, e, conseqüentemente, de suas estruturas, é função direta dos cuidados que se tem com sua utilização.

O ponto principal de desgaste e deterioração foi o uso indevido, caracterizado primordialmente pelo excesso de carga.

A providência do usuário em contratar a confecção de um laudo técnico prévio de engenharia com o objetivo de verificar eventuais danos que poderiam ser trazidos à edificação pela colocação de um carregamento excessivo e localizado acarretou projeto e obra de reforço estrutural, de modo a aumentar a restaurar, ainda que parcialmente, a capacidade de carga da estrutura.

Adicionalmente, novos materiais e novas técnicas executivas estão proporcionando oportunidades de se ter novas opções para solucionar situações

que, há bem pouco tempo demandavam grandes custos operacionais e logísticos, causando desconforto, exigindo prazos e interrompendo atividades.

No caso em apreço, todos os serviços de reforço estrutural foram executados em uma semana de trabalho permitindo uma conciliação no Processo e o retorno normal ao uso das unidades em questão.

É importante que essas técnicas e esses novos materiais entrem, definitivamente, no leque de opções que nossos profissionais devem analisar antes de decidir por uma solução.

BIBLIOGRAFIA

- Moreira de Souza, Vicente C. & Ripper, Thomaz – Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto – Pini - 1998.
- NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.
- Couri, Gilberto Adib – Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto – Apostila – Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal Fluminense - 2006
- Paula Machado, Ari – Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – Pini – 2002.
- Verçoza, Ênio José – Patologia das Edificações – Editora Sabra, 1991