



IBAPE NACIONAL
Instituto Brasileiro de Avaliações
e Perícias de Engenharia



IBAPE BAHIA
Instituto Brasileiro de
Avaliações e Perícias de
Engenharia da Bahia

Anamnese em Acidente de Estrutura de Concreto Armado

Marcelo Suarez Saldanha



O conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade de seus autores.

APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS TÉCNICO/CIENTÍFICOS DO XX COBREAP

Trabalho de Perícia - Acidente

TÍTULO: ANAMNESE EM ACIDENTE DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM OBRA DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO

RESUMO: Uma análise do acidente aplicando como ferramenta a anamnese para um prognóstico pericial, na busca da investigação do nexos casual da origem do evento configurado na queda de marquise em obra de edifício em construção, em atendimento ao Artigo 473 do Código do Processo Civil – Lei 13.105/15.

PALAVRAS-CHAVE: Acidente, Anamnese, Auditoria, Inspeção e Perícia.

1. Introdução:

A análise do acidente na obra de engenharia iniciou-se a partir da descrição do local de morte dos operários pelo desabamento de estrutura em concreto armado, que correspondia à área onde estava sendo realizada a retirada das escoras das marquises de uma edificação ao nível do segundo pavimento, quando ocorreu o desabamento sobre os operários.

O novo Código do Processo Civil – Lei 13.105/15 traz, no Artigo 473, os requisitos que devem conter no Laudo pericial, sendo eles a exposição do objeto da perícia e a análise técnica ou científica realizada, indicando a metodologia utilizada. Para o desempenho de sua função, o perito deve valer-se de todos os meios necessários para obter informações, solicitar documentos, bem como entrevistar as partes e testemunhas, instruindo o laudo com ensaios, testes, mapas, plantas, desenhos, fotografias e outros elementos necessários ao esclarecimento do objeto da perícia.

Art. 473. O laudo pericial deverá conter:

I – a exposição do objeto da perícia;

II – a análise técnica ou científica realizada pelo perito;

III – a indicação do método utilizado, esclarecendo-o e demonstrando ser predominantemente aceito pelos especialistas da área do conhecimento da qual se originou;

IV – resposta conclusiva a todos os quesitos apresentados pelo juiz, pelas partes e pelo órgão do Ministério Público.

§1º No laudo, o perito deve apresentar sua fundamentação em linguagem simples e com coerência lógica, indicando como alcançou suas conclusões.

§2º É vedado ao perito ultrapassar os limites de sua designação, bem como emitir opiniões pessoais que excedam o exame técnico ou científico do objeto da perícia.

§3º Para o desempenho de sua função, o perito e os assistentes técnicos podem valer-se de todos os meios necessários, ouvindo testemunhas, obtendo informações, solicitando documentos que estejam em poder da parte, de terceiros ou em repartições públicas, bem como instruir o laudo com planilhas, mapas, plantas, desenhos, fotografias ou outros elementos necessários ao esclarecimento do objeto da perícia.

2. Metodologia:

A metodologia pericial parte da arte de investigar os fatos para o conhecimento da verdade, através da determinação da origem, causa e mecanismo de ação de um fato. A etapa inicial dá-se pela anamnese, configurada na coleta de dados e obtenção de informações sobre o histórico da execução da obra, desde os projetos executivos a ocorrências de anomalias, vícios ou defeitos de construção que configurem uma ameaça potencial à segurança, decorrentes de falhas no projeto ou na execução de um produto ou serviço, ou, ainda, de informação incorreta ou inadequada de implantação do empreendimento.

O diagnóstico pericial é condicionado à abrangência das investigações, à confiabilidade e adequação das informações obtidas, à qualidade das análises técnicas efetuadas e ao menor grau de subjetividade inserida nos trabalhos, configurando esta etapa como inspeção da obra.

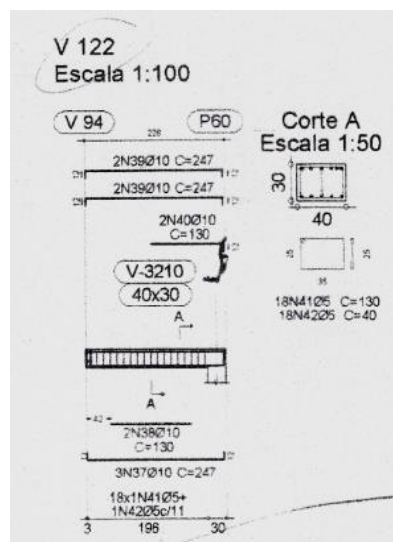
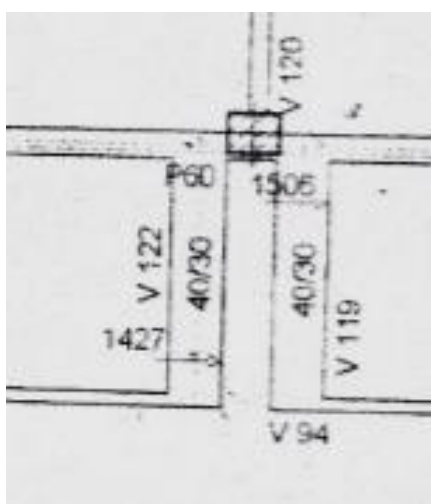
O perito, com sua expertise, desenvolve um processo investigativo que permita analisar a existência ou inexistência de possíveis nexos causais. A fundamentação técnica consiste na análise de eventos ocorridos e a constatação de fatos ou situações, com os elementos que os constituem descritos minuciosamente, para o es-

tudo da causalidade. Essa investigação minuciosa permite, ainda, revelar responsabilidades e apontar as consequências da ocorrência de acidente na obra.

3. Objeto do Sinistro:

O objeto da análise do sinistro é a marquise em concreto armado é parte integrante do sistema estrutural, projetada em balanço e apoiada nas extremidades por vigas de concreto, sendo constituída por uma laje maciça retangular com 10 cm de espessura, largura de 2,00 m, e 7,90 m de comprimento, apoiada em uma viga de contorno em sua borda perimetral, a saber:

- ✓ Laje de Concreto: 2,00 m x 7,90 m x 0,10 m;
- ✓ Vigas Laterais (A e B): seção [40x30]cm x 2,00 m;
- ✓ Viga de Bordo (Frontal C): seção [10x30]cm x 7,90 m;
- ✓ Viga no Bordo Posterior (D): [20x135]cm;
- ✓ Resistência do Concreto: 20 MPa



Detalhamento do Projeto Estrutural - Viga de Contorno



Vistas da Marquise Sinistrada - Vigas Laterais A e B



Vistas da Marquise Sinistrada – Armaduras e Ancoragem

3. Anamnese da Estrutura Sinistrada:

3.1. Circunstâncias dos Vestígios e Indícios:

A marquise sofreu uma rotação com centro de giro no encontro das faces inferiores das vigas A e B com a Viga D; Com a rotação, ficaram aparentes as ferragens (negativas) responsáveis pelo engaste (ancoragem) e sustentação da mesma.

✓ Armadura: 5 barras superiores e 3 barras inferiores de 10mm de diâmetro;

A concretagem foi realizada no dia 04/03/2010, com concreto usinado fornecido, sendo que a retirada completa do escoramento deu-se no dia 16/03/2010, com doze dias de cura, sendo que as resistências do concreto foram comprovadas pelo corpo de provas ensaiado em laboratório.

Resultados dos ensaios de resistência a compressão.

Identificação			Rompimento			Diâmetro Médio (mm)	Altura (mm)	h/d	Fator de Correção NBR 7680	F _{ck} (MPa)	Tensão de Ruptura
Lab.	Obra	Estrutura	Data Moldagem	Data Ensaio	Idade (dias)						
2295	1	viga	04/03/10	22/03/10	18	103,90	188,16	1,81	0,980	20	19,01
2296	2	laje	04/03/10	22/03/10	18	104,09	135,13	1,30	0,900	20	16,32

Fonte: Laboratório

Resultado dos Ensaios			
Número do C.P.	Idade	Abatimento (mm)	Resistência fc (MPa)
001585	7	90.00	15.60
001586	13	90.00	17.90

Fonte: Concreteira

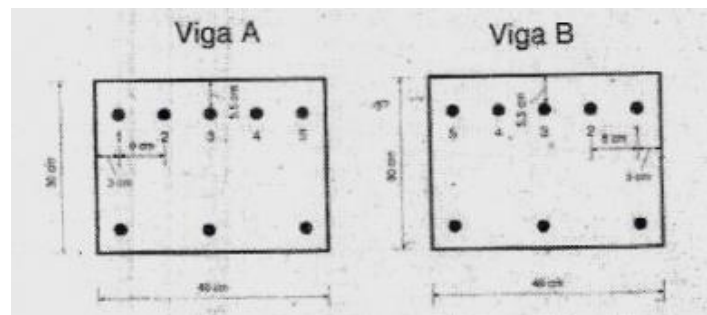
Das análises efetuadas, foi considerado, preliminarmente, o que segue:

- ✓ Descontinuidade do concreto da viga D (engaste), apresentando falta de estabilidade da armadura longitudinal;
- ✓ A retirada do escoramento no extremo livre (borda) transformou os apoios em engastes livres de forma abrupta, causando o pico do carregamento;
- ✓ A ancoragem negativa entrou em solicitação de carga antes da idade de atingir a resistência de carga do concreto;
- ✓ O comprimento de ancoragem das barras intermediárias da armadura superior das vigas laterais A e B era insuficiente para a aderência do concreto no momento da retirada do escoramento;

3.2. Levantamento do Projeto Estrutural:

O projeto estrutural das marquises, elaborado pelo engenheiro, previa seis marquises em concreto armado, constituída por uma laje maciça retangular com 10 cm de espessura, com balanço projetado para frente, sobre o passeio, e apoiada nas extremidades por vigas de concreto, perfazendo o contorno de toda a sua borda perimetral.

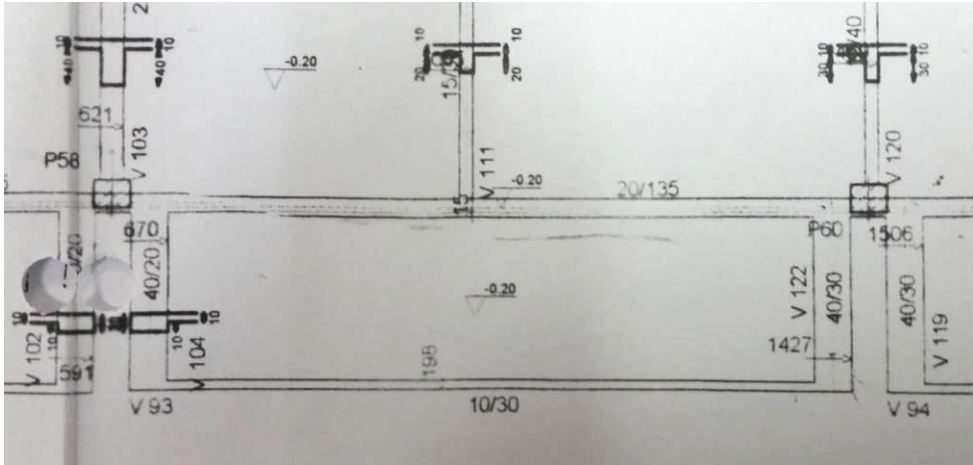
A marquise sinistrada mede 7,90m de comprimento, com uma largura de 2,00m sobre o passeio, sendo sustentada pelas vigas laterais A (V104) e B (V119), e ancoragem na viga de engaste D (V91) que se apoiava nos pilares (P58) e (P60).



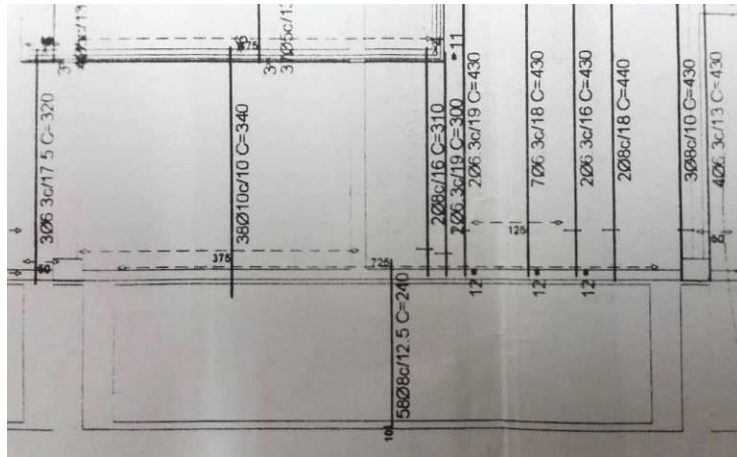
Vista da Seção da Viga de Contorno

Características construtivas:

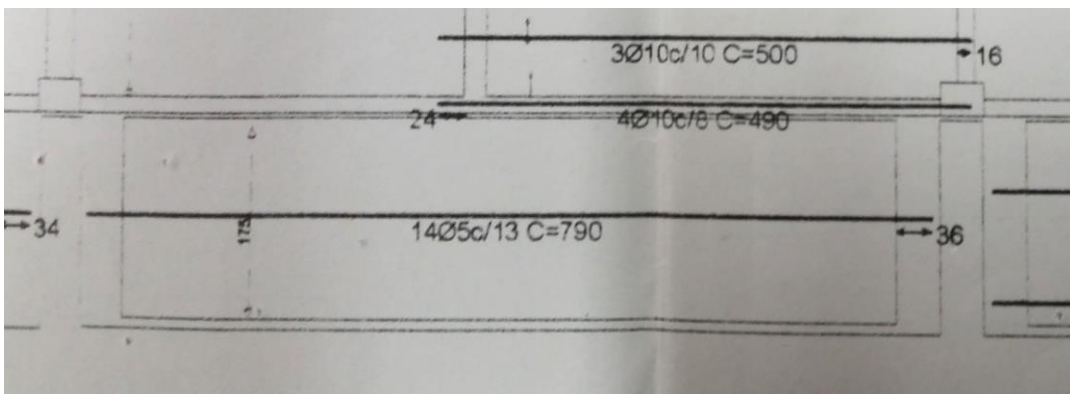
- ✓ Laje de Concreto: 2,00m x 7,90m x 0,10m;
- ✓ Vigas Laterais (A e B): seção [40x30]cm x 2,00m;
- ✓ Viga de Bordo (Frontal C): seção [10x30]cm x 7,90m;
- ✓ Viga no Bordo Posterior (D): [20x135]cm;
- ✓ Resistência do Concreto: 20 MPa



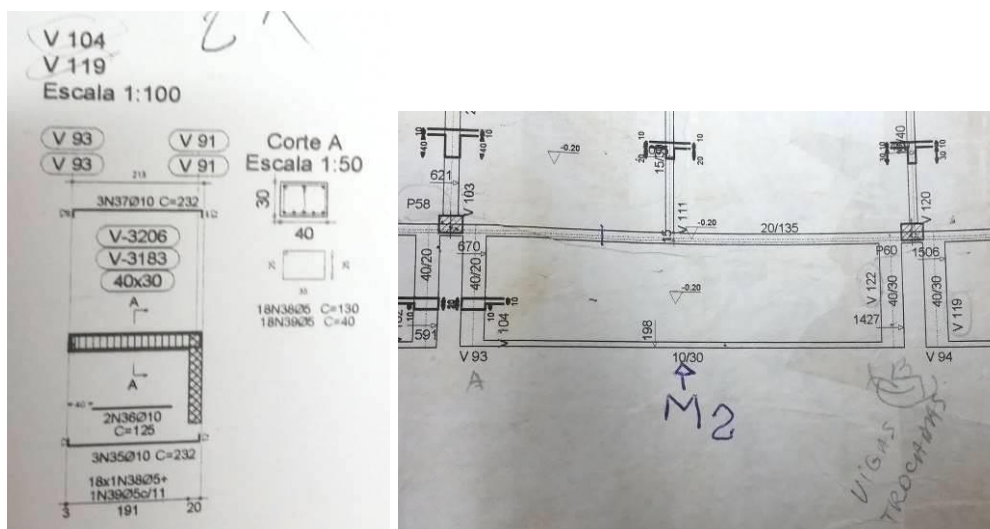
Planta de fôrmas – vigas e laje (com data inicial)



Planta de ferragens – laje (com outra data)



Planta de ferragens – laje (com outra data)



Planta de ferragens e fôrmas – vigas e laje (com data anterior)

Referência: Projeto Estrutural, Vigas e Lajes.

4. Revisão do Projeto Estrutural:

Para proceder a verificação das estruturas, foram solicitadas todas as plantas elaboradas pelo engenheiro calculista para conferência de conformidade dos cálculos estruturais, sendo o projeto estrutural da obra sinistrada revisado a partir da descrição da obra e serviços do sistema estrutural de concreto armado e do projeto arquitetônico da área construída, que consiste nas pranchas dos pavimentos de subsolo, térreo e 1º pavimento, totalizando 3.641,82m², e do projeto de reconstrução de 6 marquises do 1º pavimento.

4.1. Modelo Estrutural Analisado:

O engenheiro calculista que realiza a revisão do projeto estrutural, emite um Laudo de Estabilidade Estrutural, apresentando a seguinte fundamentação teórica:

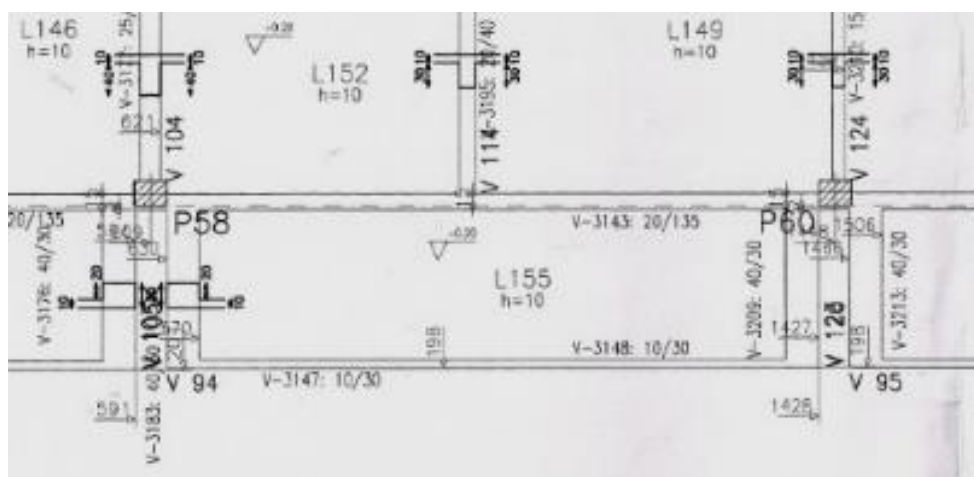
O modelo estrutural da marquise foi concebido de uma laje de quatro apoios, vigas V104, V119, V93 e V91. As vigas V104 e V119 foram engastadas na viga V91 distantes entre eixos 7,57m, a viga V93 foi considerada como simplesmente apoiada nas vigas V104 e V119. A viga V91 foi considerada como viga contínua apoiada nos pilares P58 e P60. Neste modelo não foi contemplado a armadura negativa da laje da marquise que deveria ser engastada na viga V91 ou nas lajes adjacentes.

O modelo analisado conclui que a queda da marquise do edifício foi devido ao fato das armaduras negativas prescritas para as vigas V104 e V119 no projeto estrutural estarem defasadas na quantidade necessária, somado pelo fato de sua ancoragem ser insuficiente. Quanto a descontinuidade da viga V91, afirma que a mesma não tem nenhuma influência sobre a queda da marquise, uma vez que os esforços recebidos no trecho sinistrado não se alteraram.

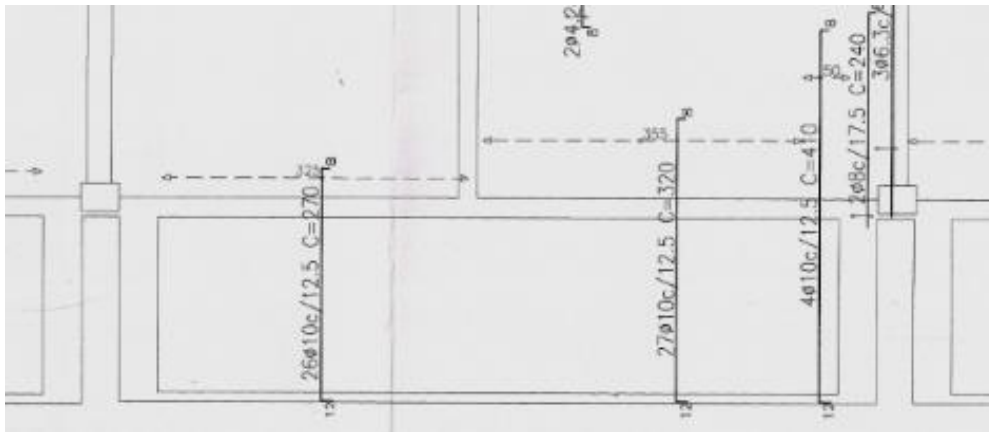
4.2. Contestação do Projetista:

O engenheiro projetista que calculou a estrutura de concreto armado da edificação sinistrada, contesta a análise realizada pelo engenheiro calculista revisor do projeto estrutural, afirmando o que segue:

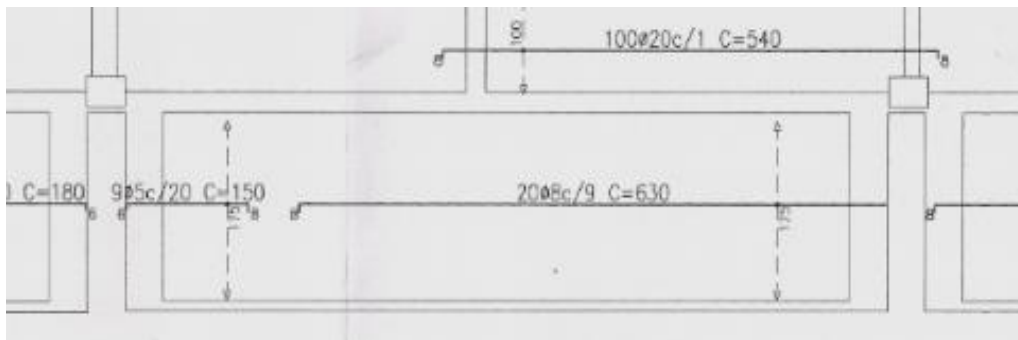
- ✓ Os projetos elaborados, estão corretos e não foram seguidos pelos executores da obra. E se tivessem sido seguidos rigorosamente, a marquise não teria sofrido a queda;
- ✓ Que a ferragem negativa que engastaria a laje da marquise do edifício não foi colocada. E que a planta das lajes com a ferragem negativa não foi apresentada no inquérito policial;
- ✓ Que não houve comunicação ou autorização para a retirada das escoras em prazo tão curto;
- ✓ Que o relatório de ensaio de resistência de compressão do concreto de fck 20 MPa apresentou uma resistência baixa (tensão de ruptura da viga 19,01 Mpa e da laje 16,32 Mpa) indicando que o material não estava pronto para ser retirada as escoras;
- ✓ Que a execução da marquise foi realizada em duas etapas, criando falhas de aderência dos concretos da primeira e da segunda concretagem, configurando no ponto de ruptura;
- ✓ Que a laje da marquise foi executada de forma diferente do projeto, ou seja, laje rebaixada em relação ao edifício, sem armadura negativa e junta de concretagem sem projeto;
- ✓ Que a viga D (V91) apresenta dimensões erradas, contribuindo para a sua ferragem negativa de montagem não entrar em contato com os engastes das vigas laterais A (V104) e B (V119).,



Planta de ferragens e fôrmas – vigas e laje da marquise (com data)



Planta de ferragens – laje da marquise (sem data)



Planta de ferragens – laje da marquise (sem data)

✓ O engenheiro projetista relatou que o modelo estrutural projetado era de uma laje em balanço engastada com vigas de contorno laterais A e B e frontal C de função arquitetônica;

Referência: Projeto Estrutural, Vigas e Lajes.

5. Inspeção Estrutural:

Da inspeção estrutural, informações técnicas da marquise sinistrada, análise de documentos e registros fotográficos e entrevistas realizadas junto aos engenheiros civis, projetista, calculista e responsável técnico pela execução da obra, constatamos o que segue:

5.1. Concretagem:

- ✓ A marquise sinistrada foi concretada no dia 04/03/201 com concreto usinado fornecido pela concreteira;
- ✓ Questionadas as partes, podemos afirmar que os responsáveis técnicos da obra não fizeram a conferência das ferragens e fôrmas da marquise;

✓ Verificamos, através da descontinuidade do concreto da viga D (V91 engaste), que as lajes L152 e L149 contíguas à marquise sinistrada e parte da V91, já se encontravam concretadas;



Vista da descontinuidade do concreto da viga D

Nota Explicativa:

- ✓ Quando o lançamento do concreto for interrompido, se forma uma junta de concretagem não prevista, configurando uma ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho concretado.

Os corpos de provas da concretagem da marquise sinistrada foram submetidos a ensaios durante 18 dias e apresentaram resistências de 16,32 MPa e 19,01MPa, cujas resistências do concreto foram comprovadas em laboratório.

5.2. Desforma:

- ✓ O escoramento foi retirado no dia 16/03/2010, com doze dias de cura;
- ✓ Não houve comunicação nem autorização da desforma da marquise pelo calculista/projetista;

A desforma deve ser realizada de forma criteriosa em estruturas com vãos grandes ou com balanços; Deve-se pedir ao calculista um programa de desforma progressiva, para evitar tensões internas não previstas no concreto, que podem provocar fissuras e até trincas. A retirada das fôrmas e do escoramento não deverá ser feita antes dos seguintes prazos, evitando-se desformas ou retiradas de escoras bruscas ou choques fortes:

- ✓ faces laterais: 3 dias;
- ✓ retirada de algumas escoras: 7 dias;
- ✓ faces inferiores, deixando-se algumas escoras bem encunhadas: 14 dias;
- ✓ desforma total, exceto as do item abaixo 21 dias
- ✓ vigas e arcos com vão maior do que 10m: 28 dias;
- ✓ execução do reescoramento (antes do início da desforma);

Os escoramentos e fôrmas não devem ser removidos, em nenhum caso, até que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para suportar a carga imposta ao elemento estrutural nesse estágio, a fim de evitar deformações que excedam as tolerâncias especificadas, e resistir a danos à superfície durante a remoção.

Fôrmas e escoramentos devem ser removidos de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido, de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura.

Para efetuar sua remoção devem ser considerados os seguintes aspectos:

- ✓ peso próprio da estrutura ou da parte a ser suportada por um determinado elemento estrutural;
- ✓ cargas devidas a fôrmas ainda não retiradas de outros elementos estruturais (pavimentos);
- ✓ sobrecargas de execução, como movimentação de operários e material sobre o elemento estrutural;
- ✓ sequência de retirada das fôrmas e escoramentos e a possível permanência de escoramentos localizados;
- ✓ condições ambientais a que será submetido o concreto após a retirada das fôrmas e as condições de cura;
- ✓ possíveis exigências relativas a tratamentos superficiais posteriores (impermeabilização)

5.3. Reescoramento:

- ✓ É prática na desforma de obras de concreto providenciar o reescoramento de lajes, devido a possíveis sobrecargas de execução.

Após a concretagem, inicia-se o processo de endurecimento do concreto, onde as peças atingem a condição de serem autoportantes (em média 72 horas após) até atingirem a resistência para a qual foram projetadas (28 dias). A fim de liberarmos a maioria das peças de cimbramento para o próximo uso, posicionamos novas escoras (ou, nos sistemas que permitem a desmontagem das outras peças sem movimentarmos as escoras, deixamos parte delas) e depois desmontamos as demais peças para uso na próxima laje.

A retirada da fôrma e do escoramento de uma laje e/ou viga e a substituição por um escoramento reduzido, é prática comum na execução de estruturas de concreto. No escoramento convencional, as escoras do reescoramento geralmente são posicionadas após da retirada (parcial) da fôrma, cuja supervisão e cuidado especial são essenciais para evitar que a laje trabalhe sem reescoramento adequado.

Notas Explicativas:

- ✓ O concreto convencional, com 14 dias de cura, tem algo por volta de 50% da sua resistência, e, com 21 dias, chega aos 70% ou 80%.
- ✓ A estrutura de concreto armado não deve ser submetida à carga prevista antes do tempo de cura total do concreto, cujo tempo usual é de 28 dias, e para

submetê-lo a cargas antes da cura total, somente com o uso do reescoramento adequado.

5.4. Armaduras:

- ✓ O balanço da marquise não possuía armadura negativa e estava apoiado nas vigas laterais A e B;
- ✓ O comprimento de ancoragem das barras da armadura negativa das vigas laterais A e B era insuficiente para suportar o carregamento de serviço da marquise no momento da retirada do escoramento;



Vistas da falta de armadura negativa e da ancoragem insuficiente da viga lateral

Notas Explicativas:

- ✓ Na armadura negativa em lajes em balanço com continuidade, as barras devem ser estender na laje contígua 1,5 vezes o comprimento do balanço;

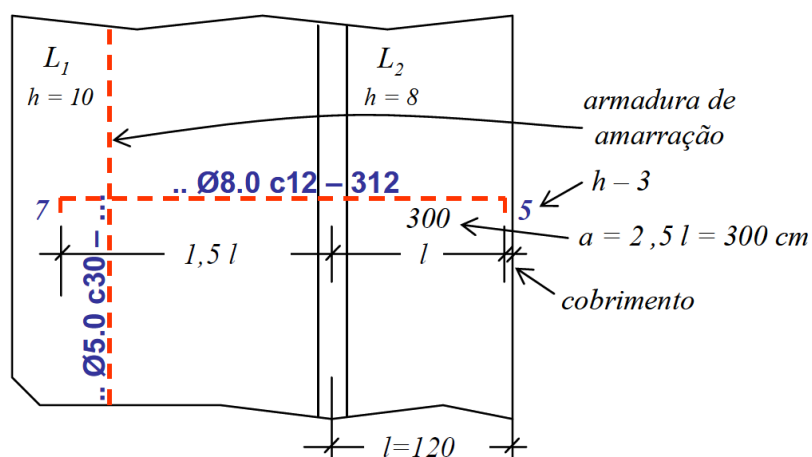


Figura 1 - detalhe ilustrativo da laje em balanço

- ✓ Nas lajes em balanço sem continuidade, a armadura negativa deve ficar ancorada na viga: é o caso das pequenas marquises de proteção. Deve-se destacar a necessidade de dimensionar a viga à torção.

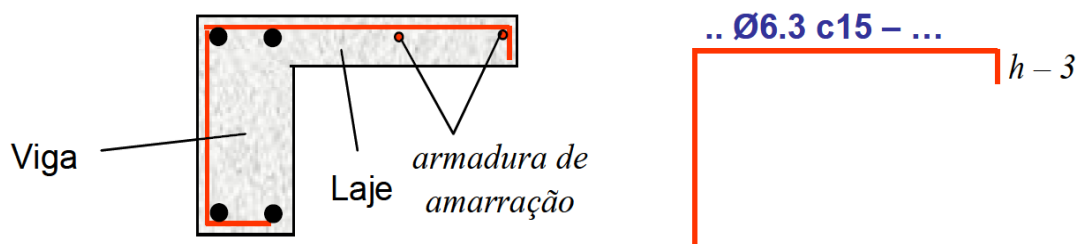


Figura 2 - detalhe ilustrativo da ancoragem da viga em balanço

6. Conclusão do Evento:

Das considerações sobre o evento, face ao exame de análise realizado na obra e nos escombros da marquise sinistrada, verificação da documentação técnica dos procedimentos de análise adotados, da consulta a bibliografia técnica e normas técnicas NBR 6118, NBR 6120, NBR 12655, NBR 14931, NBR 15696 e NBR 16230 da ABNT, podemos concluir que os fatores determinantes que contribuíram para o colapso e ruptura abrupta do elemento construtivo do sistema estrutural, foram:

6.1. Falhas de Concepção de Projeto:

- ✓ O projeto apresentado não possui o detalhamento de projeto das ancoragens das armaduras das vigas e lajes para execução da laje em balanço da marquise sinistrada;
- ✓ As armaduras negativas de ancoragem evidenciadas no projeto para as vigas V104 e V119 não possuem comprimento adequado;
- ✓ A armadura (barras) da laje em balanço L155 indicada na planta de ferragens (sem data), não se estendem na extensão de 1,5 vezes o comprimento do balanço das lajes contíguas (L149 e L152).

6.2. Falhas de Execução da Marquise:

- ✓ A marquise foi executada como uma laje apoiada em duas vigas laterais A e B em balanço (V104 e V119) ancoradas nos pilares P58 e P60, e apoiada na viga (V91);
- ✓ A marquise (laje em balanço) não possuía armadura negativa ancorada nas lajes adjacentes L149 e L152, somente armadura positiva de distribuição da laje L155;
- ✓ A marquise entrou em carga de serviço com 12 dias de cura, antes do tempo de cura total do concreto, e sem o uso do reescoramento adequado.

6.3. Nexo de Causalidade:

A causa primordial da ruptura da marquise, que deu-se de forma abrupta quando do descimbramento das escoras e fôrmas de madeira, deu-se pela falta de armadura negativa de laje em balanço L155 (2,40m x 7,90m) ancorada nas lajes adjacentes L149 e L152, havendo somente armadura positiva de distribuição da laje de concreto.

7. Recomendações:

Em princípio, o engenheiro formado atualmente nas universidades brasileiras não está capacitado para atuar na área da engenharia legal. Este campo da engenharia civil tem sido tratado como uma especialidade profissional na abordagem do ferramental de anamnese, das análises de projeto e da inspeção do sinistro de engenharia.

Objetivamente, ao realizar uma perícia ou analisar um sinistro, *neste caso a queda de elemento estrutural do sistema construtivo de um empreendimento em obra*, recomendamos ao expert para que fundamente a configuração do nexos de causalidade, realizando a anamnese da origem do evento a partir da conferência dos projetos, da análise do modelo estrutural, da montagem de fôrmas e verificação das armaduras, da técnica de descimbramento e reescoramento do elemento em edificação em fase de execução, produzindo assim uma prova conclusiva para o correto atendimento ao disposto do Código do Processo Civil - Lei nº 13.105/15.

8. Bibliografia:

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 6118, NBR 6120, NBR 12655, NBR 14931, NBR 15696 e NBR 16230;
ANDRIOLO, Francisco R., Construções de Concreto, Ed. Pini-SP, 1984;
CANOVAS, M. F., Patologia e Terapia do Concreto Armado, Ed. Pini-SP, 1988;
CASCUDO, Oswaldo e CARASEK, Helena, Durabilidade do Concreto, Ed. Ibracon, 2014;
DUETSCH, Simone F., Perícias de Engenharia A apuração dos Fatos, Ed. Leud, 2016;
GOMIDE Tito L. F., Inspeção Predial Total, Ed. Pini-SP, 2ª Edição, 2014;
HELENE, Paulo R. L. Corrosão em Armaduras para Concreto Armado, Ed. Pini-SP, 1986;
INSTITUTO DE ENGENHARIA-SP, Diretrizes Técnicas de Engenharia Diagnóstica em Edificações, Ed. Leud-SP, 2016;
ISAIA, Geraldo C. – Concreto: Ciência e Tecnologia, Ed. Ibracon, 2011;
IPT-DIVISÃO DE EDIFICAÇÕES, Tecnologia de Edificações, Ed. Pini-SP, 1988;
LEI 13.105/15 – Código do Processo Civil – CPC, 2015;
MORAES, Marcelo Cunha, Concreto Armado, Ed. McGraw-Hill-SP, 1982;
RIPPER, Ernesto, Manual Prático de Materiais de Construção, Ed. Pini-SP, 1995.