

**CASOS PRÁTICOS DE RECUPERAÇÃO DE PONTES E TÚNEIS**



Lenivaldo Aguiar dos Santos, Luciano Mário Schiros,  
Humberto Caminha da Silva e Walter Farinelli

**CONCEITUAÇÃO**

Em nossa experiência profissional pudemos verificar que várias obras executadas nas décadas de 60 e 70 e, portanto, sob as recomendações mais explícitas da NB-1/60, têm apresentado mais problemas de função e anomalias estruturais redutoras dos parâmetros de segurança que as obras construídas há mais tempo, exigindo tratamentos de restauração, recuperação e, muitas vezes, reforço.

Com aparelhagens eletrônicas mais avançadas possibilitando a criação de modelos matemáticos mais precisos, equipamentos construtivos de grande porte facilitando os trabalhos de execução e laboratórios de controle de qualidade mais eficientes permitindo uma melhor seleção dos materiais, somos obrigados a reconhecer que nos distanciamos da durabilidade com a vitória do efêmero. Esta situação reflete incompetência profissional ou tem relação com normas e regulamentos inadequados?

Esperemos que a situação tenha sido revertida com a conscientização dos profissionais que trabalham na construção civil dos novos conceitos emitidos em 1978. Entretanto, quantos projetistas de estruturas estão atentos às restrições do grau de fissuração das peças sujeitas à agressividade ambiental, ao cobrimento adequado às armaduras? Quantos adotam parâmetros de segurança diferenciados para ações especiais e limitam as deformações da estrutura no estado limite de utilização? Quantos construtores exercitam os processos e tecnologias corretas?

Está previsto o lançamento de uma nova conceituação, mais envolvente, para o dimensionamento das peças de concreto simples, armado, protendido, e ainda estamos em processo de absorção da tecnologia já normalizada. Como interpretar a execução de uma obra com projeto ultrapassado? A urgência da produção justifica a falta de tempo para a pesquisa?

Para acompanhar a vertiginosa velocidade de evolução da tecnologia é necessária muita dedicação ao estudo de atualização e ao trabalho consciente. Por outro lado, apenas atender às restrições e recomendações das normas vigentes não defende os insucessos.

**PRINCIPAIS CAUSAS DOS PROBLEMAS NAS PONTES E TÚNEIS**

Nas várias intervenções que temos realizado podemos verificar serem mais comuns as seguintes causas dos problemas encontrados nas pontes e túneis:

**Anomalias com origem no projeto**

- Concepção inadequada
- Indefinição do planejamento executivo
- Dimensionamento e detalhamento das peças apenas para suas funções finais
- Especificações técnicas dos materiais e serviços sumárias ou inexistentes
- Controle de qualidade do projeto insuficiente

**Anomalias com origem na construção**

- Iniciar serviços sem estudar o projeto em profundidade
- Aceitar projetos incompletos
- Atendimento parcial às diretrizes e especificações do projeto
- Mudanças no planejamento executivo sem consulta ao projeto
- Controle inadequado da qualidade dos materiais
- Usar técnicas e produtos sem qualificação
- Correção inadequada dos defeitos constatados
- Aceitar pressões na redução de prazos

**Anomalias por falta de conservação**

- Acúmulo de águas infiltradas nos caixões
- Entupimento dos sistemas de drenagem
- Agravamento de anomalias preexistentes
- Desgaste da superfície de rolamento
- Aceleração dos processos de ataque do meio ambiente

**Anomalias causadas por acidentes**

- Choque de veículos contra a estrutura
- Incêndios em obras urbanas
- Erosão e ruptura dos taludes dos aterros de acesso
- Enchentes e solapamento das fundações
- Carregamentos não previstos

**PROGRAMA DE INTERVENÇÃO**

Normalmente tem sido estabelecido um programa de intervenção numa obra com o alerta dado por uma vistoria de rotina.

Em nossa experiência, basicamente devemos distinguir dois tipos fundamentais de intervenção:

- **Obra sem sinais de risco**

Nestas intervenções, os trabalhos caracterizados aos níveis de conservação, restauração, recuperação e reforço são executados geralmente sem interromper o tráfego e conforme programa previamente estabelecido. Podemos citar:

Viaduto Castelo Branco - Santo André  
Complexo viário CEBOLÃO  
Túneis do município de São Paulo

- **Obra com sinais de risco**

Nestas intervenções, os trabalhos são executados com a obra já interditada e sob grande tensão face os riscos envolvidos. Tratando-se de uma emergência, o programa é estabelecido em paralelo com as primeiras providências que objetivam controlar o grau de segurança a níveis aceitáveis, nem sempre claros. Podemos citar:

Galerias do Córrego Traição e Dreno do Brooklin  
Ponte Tatuapé  
Ponte s/o Ribeirão dos Cedros  
Córrego Sumaré  
Edifício Dona Sara – Bauru  
Tobogã do Pacaembú  
Ponte dos Remédios

Em ambos os casos, as atividades envolvidas numa intervenção podem ser agrupadas na seguinte seqüência:

- **Vistoria de referência**
  - Cadastro histórico
  - Registro das observações de campo
  - Caracterização e gravidade dos problemas
  
- **Avaliação da adequação da obra**
  - Segurança estrutural
  - Funcionalidade e conforto do usuário
  - Durabilidade
  
- **Crítérios de intervenção**
  - Intervenção de emergência
  - Intervenção programada
    - Reforço
    - Recuperação
    - Restauração
    - Conservação
  
- **Teste de comprovação**
  - Ensaio de carga x deformação
  - Monitoramento

Para exemplificar o desenvolvimento das atividades usaremos os casos práticos que julgamos mais interessantes.

### **Cadastro histórico**

As atividades de coleta de informações existentes sobre o projeto original e de como a obra foi construída nem sempre produz resultados satisfatórios pela importância secundária que é dada aos processos de arquivamento de documentos. Desta forma, devemos ressaltar a grande satisfação pessoal nas oportunidades em que são encontrados os documentos necessários para a análise estrutural.

Neste tipo de atividade já pudemos registrar casos extremos como na Ponte do Ribeirão dos Cedros que não foi encontrado nenhum detalhe do projeto original e na Ponte dos Remédios que recebemos do DER todos os documentos importantes apenas cerca de 1 hora após a primeira consulta.

Podemos ainda citar casos interessantes como:

- Uma obra no interior de São Paulo que, na pesquisa de documentos, o projeto encontrado nos arquivos não tinha nada a ver com a obra executada;
- No Complexo Viário CEBOLÃO, após verificar a inexistência de detalhes do projeto tanto nos arquivos do Anel Rodoviário de São Paulo - DER, Projetista e Construtora, conseguimos encontrar um jogo de cópias quase completo da estrutura do Anel Externo, guardados como lembrança no arquivo pessoal de um engenheiro que iniciou sua carreira na CBPO e nesta obra. Estes documentos foram de grande valia para o programa, posto que, considerados como típicos para as outras duas obras do complexo, evitaram o aprofundamento de pesquisas destrutivas;
- A Ponte s/o Lago de Brasília cujos detalhes importantes de sua concepção e critérios de dimensionamento foram encontrados em artigo do autor na Revista Estrutura, referenciado no livro do Professor Vasconcelos.

Face a estes problemas, julgamos importante que os documentos encontrados nestas pesquisas sejam devidamente digitalizados ou reproduzidos e arquivados para consultas posteriores.

### **Registro das observações de campo**

As atividades de campo apresentam, por sua vez, peculiaridades interessantes que devem ser ressaltadas considerando-se a importância na confiabilidade das informações coletadas. Tratam-se das referências às peças que não foram vistoriadas, ou por se tratar de uma operação inviável (justificar razões) ou por ter sido considerado como uma operação desnecessária face a outros sinais constatados. Temos adotado realizar estas atividades na seguinte seqüência:

- Realizar uma vistoria rápida, preliminar, dando maior atenção aos sinais externos indicadores de anomalias de maior gravidade e objetivando verificar em detalhe, quais equipamentos, serviços de apoio e ou ensaios serão necessários para o aprofundamento da pesquisa e cadastro.
- Preparar no escritório as fichas e os croquis adequados para as anotações de campo e providenciar o suporte para as operações como desvios de tráfego, equipamentos especiais para abertura de janelas de acesso às células dos caixões e conferência da disposição de armaduras julgadas como indispensáveis, assim como aqueles necessários para acesso direto em peças altas ou submersas.

- Anotar nas fichas, croquis e fotos os desvios com relação ao projeto, desvios construtivos e os sinais de comportamento anormal da estrutura como fissuras, trincas, regiões com concreto desagregado, armaduras expostas, oxidadas e corroídas, etc;
- Documentar o cadastro realizado de forma clara e precisa.

Considerando que esta documentação é a base para o entendimento dos problemas e decisão sobre o nível de intervenção a ser estabelecido para a obra, julgamos que a leitura de um conjunto de fichas preenchidas e dos croquis normalmente apresentados como cadastro de anomalias, mesmo que atendam a padrões previamente estabelecidos, são insuficientes para o julgamento do estado da obra. Nossa experiência indica como importante que estas informações sejam analisadas por um profissional experiente que participou das atividades de campo e tenha conhecimento dos dados históricos da obra.

### **Caracterização e gravidade dos problemas**

Com base no conjunto de informações levantadas, é realizada uma análise conceitual das peças que apresentarem anomalias graves e ou redutoras dos parâmetros de segurança. Devemos aqui ressaltar que, a disponibilidade dos memoriais de cálculo e dos detalhes do projeto estrutural de origem é um fator de grande importância ao programa, face às facilidades que trará possibilitando realizar comparações na resposta da obra em utilização.

Em seqüência, é elaborada uma análise estrutural com modelos matemáticos adequados, se possível mais precisos que os normalmente utilizados, tanto para o nível de tráfego para o qual a estrutura foi projetada como para as novas cargas definidas como de interesse futuro.

Estes estudos do comportamento estrutural permitirão caracterizar a gravidade dos problemas constatados e, assim, definir o conjunto de prioridades para as intervenções de reforço, recuperação, restauração ou conservação.

A programação da intervenção deve envolver a avaliação da adequação da obra quanto aos seguintes aspectos:

- Segurança estrutural
- Funcionalidade e conforto do usuário
- Durabilidade

**Segurança estrutural**

Com base nos dados colhidos e nos problemas caracterizados nas etapas anteriores, deverá ser desenvolvida a análise da estrutura como construída, definindo os parâmetros reais de segurança conforme as normas vigentes. Em seqüência, esta análise é desenvolvida com a geometria eventualmente modificada pelos reforços para demonstrar que a estrutura, após a execução dos tratamentos, atende aos limites normais de segurança.

Ressalvamos que, nos casos em que a análise inicial indica condições de risco e ou perda de estabilidade da obra, o prazo dos serviços de emergência deve ser reduzido ao mínimo possível, condição esta que exige a *execução em paralelo* de algumas das etapas descritas. Naturalmente, esta condição impõe uma coordenação única e firme dos trabalhos, no sentido de evitar operações simultâneas que ampliem as condições de risco.

**Funcionalidade e conforto do usuário**

A avaliação funcional engloba todos os aspectos relacionados ao conforto e segurança do usuário (veículos de carga, passeio, ou até mesmo pedestres), bem como apoio para transposição de utilidades. A prioridade deve ser dada aos pontos onde historicamente ocorreram acidentes com vítimas; devendo também ser verificada a adequação das características geométricas, volume de tráfego, bem como a situação de acesso da obra.

Visualmente, entre outros aspectos, devem ser observados na adequação funcional:

- Largura das pistas de rolamento, acostamento e refúgio;
- Acesso à obra com ajuste adequado dos elementos de geometria horizontal e vertical;
- Dispositivos de segurança protegendo adequadamente veículos e pedestres;
- Gabaritos horizontais e verticais adequados, quando da transposição de outra via, incluindo vias rodoviárias, férreas e navegáveis;
- Pista de rolamento incluindo pavimento, drenagem da pista e sinalização horizontal e iluminação adequada;
- Correção dos pontos de descontinuidade, causadores de impacto ou vibrações no veículos como junta de dilatação e laje de aproximação;

- Passeios de pedestres, quando necessários, com largura suficiente sem expor o transeunte a risco de atropelamento ou queda da obra;
- Necessidade de implantação ou dispositivos para suporte ou alojamento de utilidades.

Os parâmetros referentes à funcionalidade da obra são sempre inseridos em planos de monitoramento e gerenciamento com destinação dos recursos de adequação em função do nível de avaliação e prioridades.

### **Durabilidade**

Os aspectos referentes à vida útil estão relacionados aos fatores que ao longo do tempo causam desgaste natural da estrutura, fazendo com que haja necessidade de intervenção na mesma para que sejam restaurados os níveis de serviços.

Os fatores que geram o desgaste da obra podem ser advindos de fenômenos climáticos e ambientais ou da utilização. A evolução dos fatores usualmente levam ao comprometimento estrutural ou funcional. Assim sendo, estes parâmetros serão abordados neste item em sua fase embrionária, visto que em fase avançada os mesmos estarão enquadrados em adequação estrutural ou funcional. Deste modo, a intervenção nos aspectos de durabilidade serão considerados como programáveis em função das prioridades e recursos disponíveis. As seguintes anomalias são características do desgaste natural da obra ao longo do tempo;

- Condição de fissuração da obra compatível com o estado de utilização da obra conforme as normas da ABNT;
- Armaduras com cobrimentos deficientes;
- Armaduras expostas sem processo de corrosão;
- Armaduras corroídas, em estágio inicial sendo ainda armaduras de distribuição ou construtivas na concepção do projeto;
- Falhas de concretagem, segregação, infiltração, carbonatação, em situações que não interfiram nas condições de segurança e utilização da obra.

A utilização da obra usualmente ocasiona os seguintes defeitos na obra:

- Desgaste no pavimento;
- Desgaste nos aparelhos de apoio;
- Evolução da fissuração;
- Deformações residuais e risco de ruptura por fadiga de material após ciclos de carregamentos acima das condições previstas em projeto.

Quanto a este aspecto, as obras de uma rodovia que tenha sofrido solicitação com cargas limites em número superior a 2 milhões, ou cargas excepcionais acima de 150 tf em números superiores a 1500, deverão ser vistoriadas em caráter especial.

### **Acompanhamento técnico**

Objetivando garantir o máximo desempenho durante a execução dos tratamentos, julgamos importante que o projetista do programa realize o acompanhamento técnico compreendendo as seguintes atividades:

- Estudo dos equipamentos passíveis de serem utilizados, de forma a sugerir a inclusão de detalhes para o atendimento e adequação das técnicas e dos métodos construtivos a serem utilizados;
- Orientação quanto às metodologias mais adequadas de execução e especificações dos materiais a serem empregados;
- Acompanhamento dos principais etapas de construção;
- Proposição de métodos construtivos alternativos para solucionar eventuais problemas encontrados durante a execução da obra;
- Recomendação de ensaios de qualidade dos materiais e outras eventuais verificações, indicando o tipo e a quantidade, apresentar as interpretações de seus resultados e suas conclusões correspondentes.
- Emitir relatórios técnicos com documentação fotográfica, contendo as principais informações quanto ao andamento dos trabalhos e eventuais modificações do programa inicial.

**GALERIAS DO CÓRREGO TRAIÇÃO E DRENO DO BROOKLIN**

A caixa de entroncamento das galerias do Córrego Traição e do Dreno do Brooklin Paulista, ambas compostas por células múltiplas e construídas já há algum tempo, localiza-se muito próximo do apoio P10 da Ponte Eng<sup>o</sup> Ary Torres executada em 1975.

**ACIDENTE**

Atendendo à convocação de SVP, comparecemos ao Pátio do CET sob a Ponte Eng<sup>o</sup> Ary Torres nas primeiras horas do dia 09/06/97, local onde havia surgido, momentos antes, um grande buraco sob o estacionamento ali existente. Enquanto ainda rompiam algumas cunhas de solo no contorno da cratera, foi feito um primeiro exame com o auxílio de holofotes da área envolvida, com cerca de 300 m<sup>2</sup> e uma profundidade superior a 10 metros, ocasião em que verificou-se que sua origem teria sido o rompimento brusco da laje de cobertura da galeria do Dreno do Brooklin Paulista, exatamente na conexão com a galeria do Córrego Traição.

O acidente, sem vítimas, envolveu, entretanto, quatro veículos de passeio que, estacionados sobre a área em questão, praticamente foram soterrados. De imediato, verificou-se que o contorno do talude negativo criado pelo buraco distava apenas cerca de 3 metros do pilar P10 da Ponte Eng<sup>o</sup> Ary Torres, e que as trincas existentes no piso do pátio, além de caracterizar a formação de outras cunhas de ruptura do solo envolvente, mostravam uma grande probabilidade de ocorrer uma ampliação do buraco. O julgamento unânime dos riscos de perda de estabilidade do pilar da ponte mobilizou os serviços de emergência.

Naquela mesma madrugada, com uma boa noção da região envolvida no acidente, recorremos aos arquivos da Tecpont para encontrar o cadastro de interferências, levantado junto a EMURB para orientar o projeto da alça da Ponte Eng<sup>o</sup> Ary Torres para a Av. Eng<sup>o</sup> Luís Carlos Berrini, e os detalhes do projeto das fundações dos pilares P10 e P11.



- Monitoramento de precisão para detectar eventuais deslocamentos do apoio P10. Alertou-se que, no caso de ser percebida qualquer anomalia, como o crescimento da velocidade das deformações sob monitoramento, a obra deveria ser imediatamente evacuada para outras providências. Por medida de segurança, o CET tomou as devidas providências no sentido de viabilizar a curto prazo o desvio do tráfego sobre a obra, caso esta operação fosse exigida;
- Executar, a curto prazo, o rebaixamento do solo em torno do pilar até o nível inferior do bloco, no sentido de reduzir as pressões de terra;
- Executar a estabilização de eventual cunha de ruptura envolvendo o solo de embutimento das fundações do apoio P10 com um arco de cavaletes de estacas raiz;
- Remover o entulho e limpar o buraco no sentido de possibilitar a vistoria das estruturas remanescentes e definir a área de trabalho;
- Proteger a superfície dos taludes em todo o contorno do buraco, com a aplicação de armadura em tela e projeção de concreto;
- Realizar topografia de confirmação do cadastro EMURB, referenciando ao mesmo sistema de coordenadas e nivelamento as guias das pistas existentes na área.

## SOLUÇÕES DEFINITIVAS E ACOMPANHAMENTO DOS SERVIÇOS

A análise estrutural dos detalhes da galeria do Dreno do Brooklin Paulista indicaram que o trecho da Construtora Mundial Ltda. foi projetado no período de 1971, adotando-se um cobrimento de 2 cm, usual naquela época, e uma altura de terra limite de 2,00 metros. Os cálculos realizados para estas diretrizes indicam condições normais de segurança para a estrutura detalhada.

Entretanto, na medida em que os trabalhos iniciais foram possibilitando o acesso à estrutura, foram constatadas divergências drásticas com relação a cobertura de terra sobre a galeria. No trecho em que a laje de cobertura rompeu, a altura de terra sobre a laje de cobertura era da ordem de 6,00 metros, altura esta que poderia ser reduzida para 5,00 metros com movimentos de terra para o nivelamento da área do pátio do CET e das pistas de contorno.

Por outro lado, por ocasião das primeiras vistorias do interior das células, verificou-se o fato agravante do ataque agressivo dos gases ao concreto e às armaduras, resultando, após estes 25 anos, em grande percentual de armaduras já expostas e bastante danificadas por corrosão.

Desta forma, foi parecer unânime dos técnicos que estudaram o mecanismo de ruptura, que as primeiras trincas surgiram com o excesso de carga permanente, trincas estas que aceleraram o processo de ataque dos gases às armaduras, já com baixo cobrimento. Com a perda de seção resistente das armaduras principais, a estrutura atingiu o estado limite último e, conseqüentemente, rompeu de forma brusca.

Reconhecidas as causas do acidente, foram propostas soluções para a recomposição do sistema de drenagem prejudicado pelo acidente, naturalmente procurando-se evitar interrupções do tráfego em vias tão importantes para a cidade. Sob a coordenação da PMSP, foram definidas as seguintes diretrizes básicas para o projeto:

- Reestudo hidráulico do conjunto de galerias e criação de uma caixa de interligação de todas as células existentes, proporcionando as vazões de forma adequada;
- Usar a metodologia de parede diafragma para viabilizar as escavações e a reconstrução das lajes de fundo, paredes e lajes de cobertura danificadas pela ruptura;
- Usar métodos não destrutivos para construção da conexão com os outros ramos da galeria do Dreno do Brooklin Paulista.

## **PONTE TATUAPÉ**

### **HISTÓRICO DAS OCORRÊNCIAS**

Incêndio de 28/7/95

A Ponte Tatuapé foi vistoriada no dia 28/7/95, logo após o incêndio ocorrido durante a madrugada nos barracos da favela instalados sob a obra. Na oportunidade, verificou-se que o tabuleiro mais atingido foi o que recebe o tráfego da Via Dutra e da marginal local do Tietê, em direção à Avenida Salim Farah Maluf, o Tab. IV, em concreto protendido e de largura variável, que possui 2 vãos contínuos, 3 vigas longitudinais, seção caixão com lajes laterais em balanço. O fogo intenso atingiu mais o vão entre os pilares P9 e P10 (pista da Dutra) e P9 e P47 (acesso da marginal local), próximo à junta dos tabuleiros IV e V, últimos vãos dos tabuleiros V e XVII, destacando o cobrimento das lajes de fundo e dos balanços expondo a armadura frouxa do fundo do caixão e da laje em balanço. No meio dos vãos, foram constatadas fissuras envolvendo a laje de fundo e as vigas do caixão.

Os aparelhos de apoio de elastômero fretado do pilar P10 se encontravam totalmente queimados. O concreto do pilar se apresentava com tonalidades rosa, entretanto o cobrimento das armaduras não chegou a destacar. No fundo do berço de apoio da transversina, a armadura principal foi exposta.

O pilar P11, apoio intermediário do tabuleiro, não foi atingido com a mesma intensidade que o pilar P10 da junta. Entretanto, somente com uma análise dos ensaios poder-se-ia concluir se suas características teriam sido prejudicadas.

Logo após a vistoria inicial, foram definidos os trabalhos de limpeza para exame da estrutura, indicados os ensaios de qualidade dos materiais, assim como iniciada a busca dos detalhes existentes do projeto estrutural nos arquivos da Prefeitura.

#### Incêndio de 14/8/95

Durante a execução dos trabalhos iniciais de campo, ocorreram em várias oportunidades divergências entre os moradores da favela, que exigiam condições especiais para a sua relocação em outro local, condição imprescindível para a execução dos serviços. Foi então que no final da tarde do dia 14/8/95, outros incidentes provocaram um novo incêndio, agora de grandes proporções, envolvendo novamente parte do tabuleiro IV, o primeiro vão do tabuleiro V e vários vãos do tabuleiro XVII.

Avisados, comparecemos ao local ainda durante o sinistro e pudemos acompanhar os trabalhos do Corpo de Bombeiros até podermos, já noite, ter acesso à região próxima da área atingida. De imediato, verificou-se que o tabuleiro IV, que já havia sido atingido pelo incêndio anterior, apresentava na laje de fundo novas fissuras e aquelas anteriormente já constatadas, estavam com aberturas nitidamente maiores. A totalidade da superfície inferior dos tabuleiros atingidos se encontrava com a armadura frouxa exposta, com perda total de sua aderência ao concreto.

Os pilares P10 (Tab.IV), P11 (Tab.V), em especial e os pilares P50, P51 e P52 (Tab.XVII) da rampa foram muito danificados, visto que praticamente toda a sua armadura principal ficou solta do concreto e formaram-se cunhas de ruptura na região de apoio da superestrutura.

As condições descritas da estrutura são sinais claros do elevado risco de perda da estabilidade dos referidos pilares, agora trabalhando com seção reduzida de concreto e resistência praticamente nula às solicitações de flexão e exigiam providências imediatas:

- A interdição do tráfego sobre os tabuleiros IV, V e XVII, ou seja, dos movimentos nos sentidos:  
Via Dutra - Av. Salim Farah Maluf  
Av. Marginal do Tietê (pista local) - Av. Salim Farah Maluf.
- Escoramento dos tabuleiros junto aos pilares P10, P11, P50, P51 e P52.
- Execução dos reforços necessários.

### SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA

Escoramento dos tabuleiros junto aos pilares P10, P11, P50, P51 e P52

Para a execução do escoramento dos tabuleiros, foi necessária a escavação ao redor dos pilares até a exposição integral dos seus blocos de transferência das cargas aos tubulões. Nas primeiras operações no Apoio 10 (um dos mais danificados), verificou-se que o nível do solo em toda a região da obra havia sido muito alterado após a execução da obra, fato que exigiu o aprofundamento das escavações.

O escoramento foi executado conforme detalhes específicos emitidos pela Consultoria contratada, constando basicamente de perfis metálicos travados por anéis, diretamente entre a superfície do bloco e a superfície das vigas dos tabuleiros. Considerando a necessidade de substituição dos aparelhos de apoio queimados, a implantação destes perfis foi prevista de forma a possibilitar a colocação em seu topo de macacos hidráulicos. Desta forma, os macacos garantiram o perfeito cunhamento com madeira dos perfis na fase inicial de escoramento e, posteriormente, o seu acionamento levantou o tabuleiro para a substituição dos aparelhos de apoio.

Considerando-se que durante as escavações realizadas em torno dos pilares até a exposição da face superior dos blocos foram constatadas fissuras não direcionadas, tornou-se necessária a ampliação destas escavações no sentido de possibilitar verificar a sua extensão, profundidade e gravidade.

## Ensaio dos materiais (concreto e aço)

Com o objetivo de identificar e delimitar as regiões nas quais as características mecânicas dos materiais componentes da estrutura foram alteradas pelo longo período em que as áreas estiveram submetidas a elevada temperatura atingida no sinistro, foi necessária a execução de uma série de ensaios tecnológicos.

- Mapeamento das regiões calcinadas

Com base no aspecto visual das superfícies e em informações colhidas durante e logo após o sinistro foi realizado o mapeamento das regiões da estrutura atingidas pelas chamas e altas temperaturas, áreas estas nas quais a Consultoria indicou *in loco* os locais para a retirada de amostras para ensaio dos materiais.

- Avaliação das propriedades mecânicas do concreto

Foram retiradas amostras dos pilares, laje de fundo e laje em balanço dos tabuleiros, em locais definidos pela Consultoria e distribuídos na região mapeada, amostras estas submetidas às seguintes determinações:

1. Verificação da profundidade de calcinação através de exame visual (microscópio) e ensaios químicos
2. Determinação da resistência à compressão axial do concreto
3. Determinação do módulo de deformação

- Avaliação das propriedades mecânicas dos aços

Considerando-se que, tanto a estrutura dos tabuleiros como o topo dos pilares, possuem armaduras protendidas, estas propriedades foram ensaiadas no aço CA-24 (comum), aço CA-50 e armaduras de protensão (cordoalhas da Tab. V e fios de 7 mm nos tabuleiros Tab. IV e Tab. XVII).

Os resultados dos ensaios indicaram que o concreto mais interno encontrava-se com resistência maior que o especificado em projeto (condição esperada em função da perda de água), e que a região mais superficial (concreto calcinado) com espessura em torno de 3 a 4 cm apresentava resultados muito inferiores. O aço das armaduras frouxas mais atingidas teve sua qualidade modificada (resistência menor e provavelmente fragilizado), tanto para o CA-25 (armadura principal dos pilares), como para o CA-50A e B (armaduras de pele).

Estas características confirmaram a necessidade de reforço estrutural para repor as condições de aderência das armaduras ao concreto e a ampliação de resistência da seção do tabuleiro no estado limite último com a incorporação de um pavimento de concreto armado.

**COMPLEXO VIÁRIO HERÓIS DE 1932 "CEBOLÃO"**

A interconexão das Avenidas Marginais dos rios Pinheiros e Tietê com a Rodovia Castelo Branco é do tipo bulbo e nos primeiros estudos apresentava o aspecto de cebola. Desta forma, desde 1968 este complexo viário ficou conhecido como Cebolão. O programa em objeto se restringe aos trabalhos de manutenção necessários a recuperação das estruturas das pontes usualmente denominadas de Anel Externo, Ramo 1000 e Ramo 2000. A construção iniciada em abril de 1976, ficou a cargo da Companhia Brasileira de Projetos e Obras - CBPO para concluir os trabalhos em 24 meses.

**Constatação do comprometimento das juntas de dilatação**

Logo ao início das atividades de Assessoria Técnica ao Programa de Recuperação do conjunto de estruturas do CEBOLÃO, foram estudados todos os documentos existentes relativos ao projeto e construção da obra, procurando as origens dos problemas nas juntas de dilatação dos tabuleiros das estruturas. Conforme relatório elaborado pela CBPO, em 23/04/81, ou seja, 4 anos após sua execução, verifica-se que naquela oportunidade, estes problemas já se apresentavam, ou seja:

- Desnível entre a junta e o pavimento;
- Grandes fendas, devido à retração, expondo as juntas ao excessivo tracionamento e a flexão;
- Desgaste por rolamento dos veículos.

Em seqüência, tivemos acesso aos relatórios de vistoria do IPT de 1991, dez anos depois, que possibilitou analisar a evolução das anomalias, comparando o cadastro desta inspeção com o emitido pela Tecnosolo em 21 de agosto de 1996. Neste estudo, verifica-se que apesar de trocadas por outro modelo de neoprene (Tipo Jeene), as juntas continuaram a apresentar problemas. Comparando as aberturas medidas pelo IPT em 1991 com as medidas pela Tecnosolo em 1996 e com as aberturas avaliadas teoricamente como valores máximos no projeto da Tecnosolo, fica que os valores medidos praticamente alcançaram aqueles da avaliação teórica, fato que justifica os encurtamentos reais ocorridos nos tramos dos viadutos.

### Definição das diretrizes do programa

Além do estudo dos documentos emitidos sobre a construção das obras, a busca dos documentos do projeto original das estruturas foram as primeiras atividades prioritárias da consultoria, documentos estes considerados como da maior importância para orientar, não só quanto aos aspectos da capacidade portante das peças, como também no que se refere ao suporte às intervenções do tipo furação e abertura de janelas.

Com base nestes dados colhidos foram iniciados os estudos de viabilidade do programa, ocasião em que julgou-se prudente consultar o CET sobre as providências para a interdição das obras, necessária conforme projeto inicial. Nas primeiras reuniões conjuntas realizadas com o CET e DER para discutir as diretrizes de execução das obras, ficou clara a importância de reduzir ao máximo as eventuais interdições de tráfego nas pistas para evitar o caos ao tráfego da cidade. Na primeira intervenção, a interdição de apenas uma das 5 faixas da pista do Anel Externo originou um congestionamento de 230 Km em torno da cidade.

Com motivos plenamente justificáveis, decidiu-se que estas interdições deveriam restringir-se apenas aos curtos períodos de substituição da iluminação, montagens de plataformas de serviços, concretagens e macaqueamentos para substituição dos aparelhos de apoio e substituição das juntas de dilatação. Ficou assim definido que o acesso ao interior das estruturas dos tabuleiros seria feito através de janelas a serem abertas nas lajes inferiores e transversinas, sendo que estas, face à manutenção do tráfego, somente poderiam ser abertas após a execução do reforço necessário.

Para o atendimento destas diretrizes, foram realizados contatos com empresas especializadas no sentido de estudar a execução de uma passarela e plataformas tubulares apoiadas na estrutura do tabuleiro, assim como, solicitado o apoio operacional à CET – GET 6 para execução dos levantamentos topográficos e medição das aberturas de juntas, necessários para reconstituição dos desenhos de forma e o cadastro preciso de anomalias, indispensáveis para orientar as adequações do programa e prosseguimento dos trabalhos, ora em desenvolvimento.

**PONTE S/O RIBEIRÃO DOS CEDROS**

A Ponte s/o Ribeirão dos Cedros no Km 465 da ligação Belo Horizonte – Brasília foi construída no sistema de duas vigas com seção variável de concreto armado, vigas estas interligadas por transversinas e lajes retangulares compondo uma estrutura convencional de um vão e dois balanços.

A caixa hidráulica resultante com a implantação da obra num trecho curvo do ribeirão, mostrou-se insuficiente em uma das enchentes do ribeirão, oportunidade em que solapou os taludes dos aterros de acesso, fazendo a estrutura rodar ligeiramente com a ruptura de um dos pilares. A obra foi total e rapidamente recuperada com a substituição integral do apoio rompido por nova estrutura composta de pilares sobre bloco de estacas raiz. Considerando-se que a estrutura sem tráfego e apoiada sobre três dos pilares originais apresentou-se em equilíbrio instável, entretanto, sem mostrar outros deslocamentos após o ocorrido, tornou-se possível executar o novo bloco, escorar a estrutura com peças metálicas e macacos hidráulicos. Concluída esta operação, a seqüência resumiu-se a reconstruir os pilares rompidos sobre a nova fundação e realizar a transferência das cargas.

**EDIFÍCIO DONA SARA – BAURU**

Já nos deparamos com várias situações graves que, julgamos, a presença do projetista durante a execução da obra, mesmo de forma esporádica, teria evitado. Há alguns anos atrás, fomos convocados a opinar quanto à segurança de um edifício de apartamentos, na cidade de Bauru, que apresentava um comportamento estranho.

Chegando ao local, de imediato verificamos que dois pilares da estrutura, com 12 níveis, estavam visivelmente afundando no piso do subsolo, e os outros três pares de pilares simétricos já apresentavam sinais de início do mesmo processo. A gravidade da situação exigia providências imediatas de evacuar o prédio e sustar o processo. Considerando que nenhum morador atendeu aos alertas do síndico, fomos obrigados a ir, de apartamento em apartamento, exigir que todos os moradores abandonassem o prédio e se dirigissem ao hotel mais próximo.

Retirados os moradores, passamos a providenciar os meios de sustar o processo de ruptura estrutural iminente. Por segurança, foi criado um sistema topográfico de referência para a monitorização dos pilares, e somente engenheiros e operários tinham acesso às vizinhanças do prédio. Por sorte conseguimos, em poucas horas, encontrar toras de madeira de grande diâmetro, cortá-las no tamanho certo, transportá-las para a obra e implantá-las como escoras em todos os lugares possíveis, até que nos convencêssemos de que os pilares haviam parado de afundar.

Em seqüência, nossas atenções voltaram-se para a análise das causas da perda de estabilidade, ocasião em que verificamos uma superposição de erros, que podiam ter sido evitados com uma simples consulta ao projetista. Como causa principal, devemos indicar a remoção de quatro pilares que, segundo proprietário e construtor, prejudicavam o acesso às vagas da garagem. Sem orientação do calculista da estrutura, o proprietário simplesmente adotou o mesmo sistema de viga de rigidez detalhada para outro pilar com carga muito inferior.

O comportamento anormal da estrutura se agravou ainda mais pelo descontrole consentido no padrão de acabamento de paredes e pisos, resultando no uso de alvenarias com 25-30 cm, no lugar de 15 cm prevista em projeto, de forros e contra pisos espessos e pisos de mármore ou ardósia, quando foi previsto 1 cm de regularização e carpete.

## **TOBOGÃ DO PACAEMBÚ**

O Tobogã do Pacaembú, construído há cerca de 25 anos, é um bom exemplo de estrutura em que a utilização foi alterada com a modificação do comportamento das torcidas.

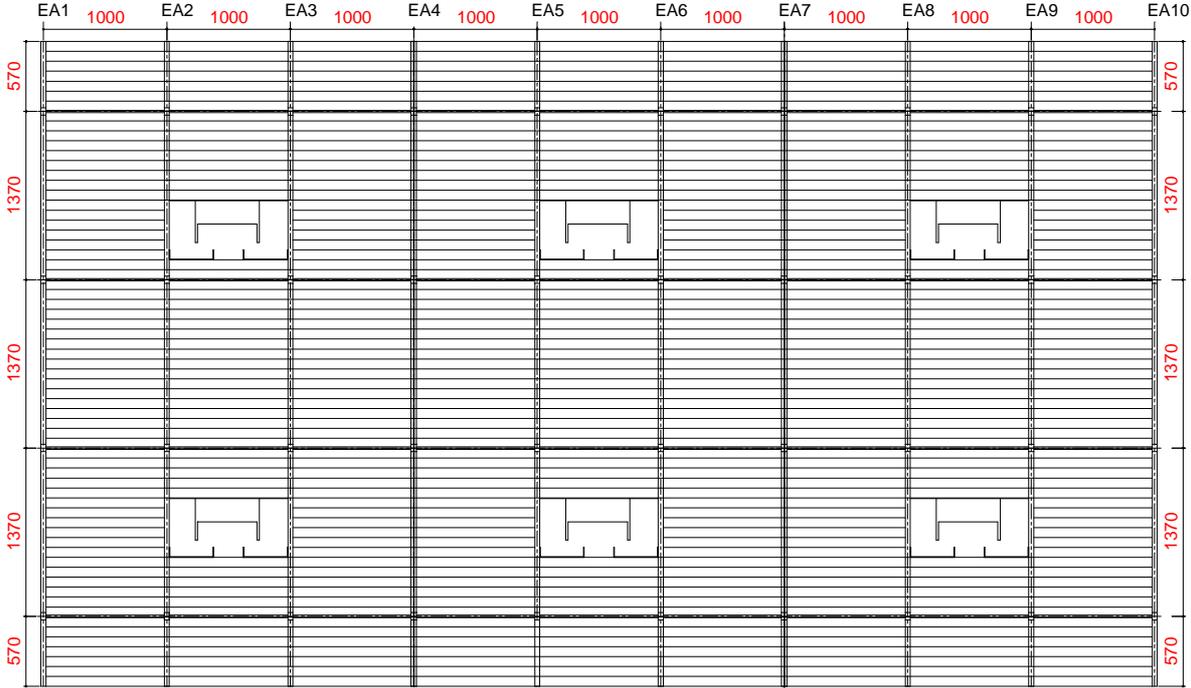
A estrutura é composta de três módulos basicamente iguais, separados por juntas de dilatação em sua parte superior, cada um deles criando três espaços úteis com vãos entre pórticos de 10 metros. Os três vãos contínuos de cada módulo são vencidos, ao nível da arquibancada propriamente dita, pelos próprios degraus interligados, com a altura estrutural de 38 cm, mesas colaborantes de 85 cm e espessura teórica de 5 cm. Nas faixas de circulação, junto às escadarias, foram implantados degraus intermediários para dar maior conforto ao usuário no acesso.

Estes degraus se apoiam diretamente com vínculo de engastamento nas vigas que, com seção variável 40/120 (no vão) a 40/250 (nos apoios), formam os pórticos transversais que compõem a estrutura base. Os pilares centrais dos pórticos, com dimensões de 40x70, são travados na direção longitudinal aos pilares de junta, com seção de metade de 20x70, por pequenas travessas de 20/60, espaçadas da altura de 7,00 metros, e pelas estruturas dos pavimentos intermediários.

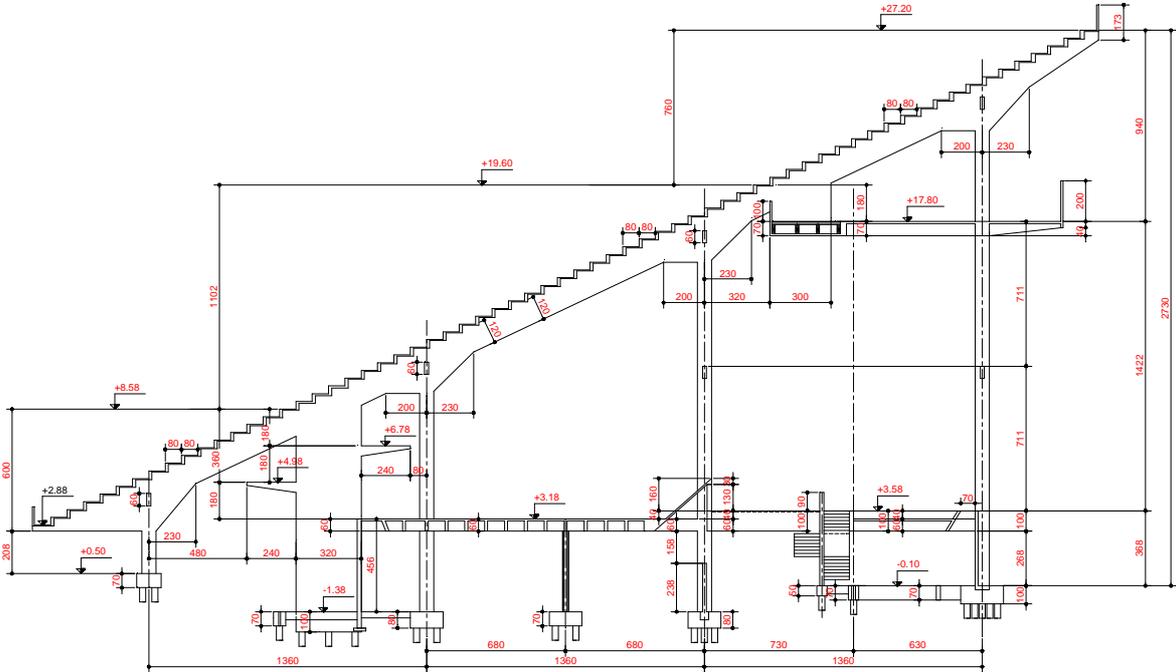
O sinal de alerta para o problema desta construção ocorreu a cerca de um ano atrás por um munícipe que percebeu trepidações anormais em sua residência quando as torcidas organizadas se concentravam neste setor do estádio e comemoravam os gols do seu time. Com o lastro da experiência adquirida em vários projetos de emergência, realizados em estruturas danificadas pelo uso ou mesmo com seu tempo de vida útil reduzido pelo uso freqüente em condições críticas, fomos convocados a dar um parecer sobre os riscos envolvidos. Naquela oportunidade, foram realizadas vistorias e análises preliminares com o objetivo de caracterizar o problema e localizar eventuais anomalias realmente graves.

Foram constatadas uma série de anomalias redutoras dos parâmetros de segurança, como a existência de revestimentos espessos, fissuras e trincas em várias peças importantes da estrutura, deslocamentos diferenciais e deformações permanentes excessivas. Entretanto, como as anomalias visíveis não eram suficientes para justificar o comportamento vibratório anormal sob ações dinâmicas, foi realizado um programa de ensaios de vibração para a monitorização durante eventos esportivos com um percentual grande de lotação.

PLANTA DA ARQUIBANCADA



CORTE TRANSVERSAL DA ARQUIBANCADA









A análise dos resultados destes ensaios de vibração permitiu concluir que a estrutura do Tobogã apresentava um comportamento anormal sob carregamentos dinâmicos, ou seja, sob a ação de vibrações de baixa frequência e grande amplitude, e uma alteração do padrão vibratório na medida em que se ampliava a presença do público.

Nos ensaios de frequência natural da estrutura, foram registradas frequências médias da ordem de 10 Hz, já muito baixas para estruturas de acesso ao público. Entretanto, nas ocasiões em que foram monitoradas as vibrações em eventos com a arquibancada apenas parcialmente lotada, as frequências nestes pontos caíram para níveis variando em torno de 4 a 5 Hz, ou seja, muito próximas das vibrações dinâmicas impostas pelos torcedores.

Esta condição é característica de estruturas que, no estado limite de utilização, trabalham em níveis de fissuração acima dos preconizados pelas normas. Ainda, justifica as tentativas frustradas de ajuste de valores passíveis de registro com o equipamento utilizado.

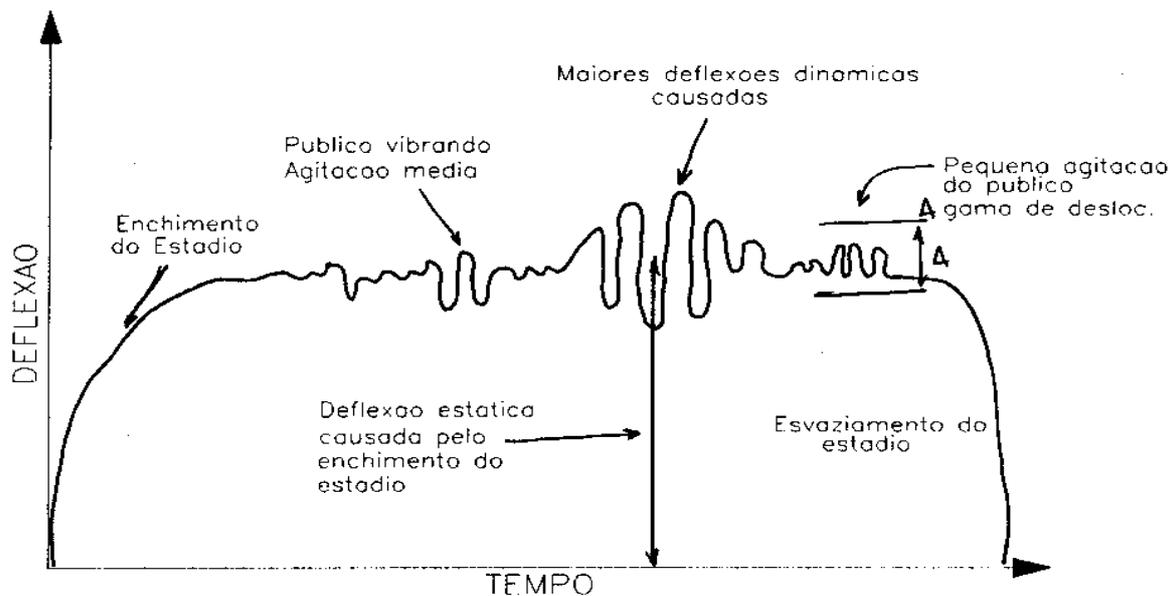
Estes estudos iniciais permitiram concluir que a estrutura, mais carregada, perdia rigidez por fissuração, reduzindo sua frequência natural e deixando-a próxima dos valores impostos pelas torcidas, com riscos de ressonância. Por outro lado, estas condições induzem a grandes velocidades de partícula, em paralelo com o crescimento dos deslocamentos ou da amplitude de vibração a valores inaceitáveis.

Desta forma, a solução para reduzir estes níveis de vibrações foi a criação de um programa de restauração, recuperação e reforço das estruturas da arquibancada e de restauração das passarelas de acesso, no sentido de assegurar condições normais de utilização pública do Setor Tobogã do Pacaembú.

### **ANÁLISE DOS RESULTADOS DA INSTRUMENTAÇÃO DO DIA 27/04/97**

As leituras nos pontos escolhidos foram iniciadas com a arquibancada totalmente vazia objetivando registrar de forma clara a ocorrência de eventuais deformações plásticas ou residuais.

Analisando o diagrama esquemático apresentado das deflexões concluiu-se não terem sido anotadas deformações estáticas residuais dentro da precisão de 0,05 mm do equipamento utilizado.



No histograma de eventos podemos caracterizar as seguintes deflexões:

No Ponto 01

(extremidade do balanço inferior e centro do painel extremo do módulo central):

129 deflexões com amplitude de 0,6 mm e 129 deflexões com amplitude de 1,2 mm

Deflexão estática máxima de  $0,5 \pm 0,05$  mm

No Ponto 02

(centro do painel extremo do módulo central):

1584 deflexões com amplitude de -0,6 mm e 1552 deflexões com amplitude 0,6 mm

Deflexão estática máxima de  $0,7 \pm 0,05$  mm

No Ponto 03

(centro do vão extremo do pórtico de junta entre o módulo Itápolis e central):

268 deflexões com amplitude de -1,2 mm e 280 deflexões com amplitude de -0,6 mm

631 deflexões com amplitude de -0,6 mm

Deflexão estática máxima de  $0,6 \pm 0,05$  mm

No Ponto 04

(centro do vão extremo do outro pórtico de junta entre o módulo Itápolis e central):

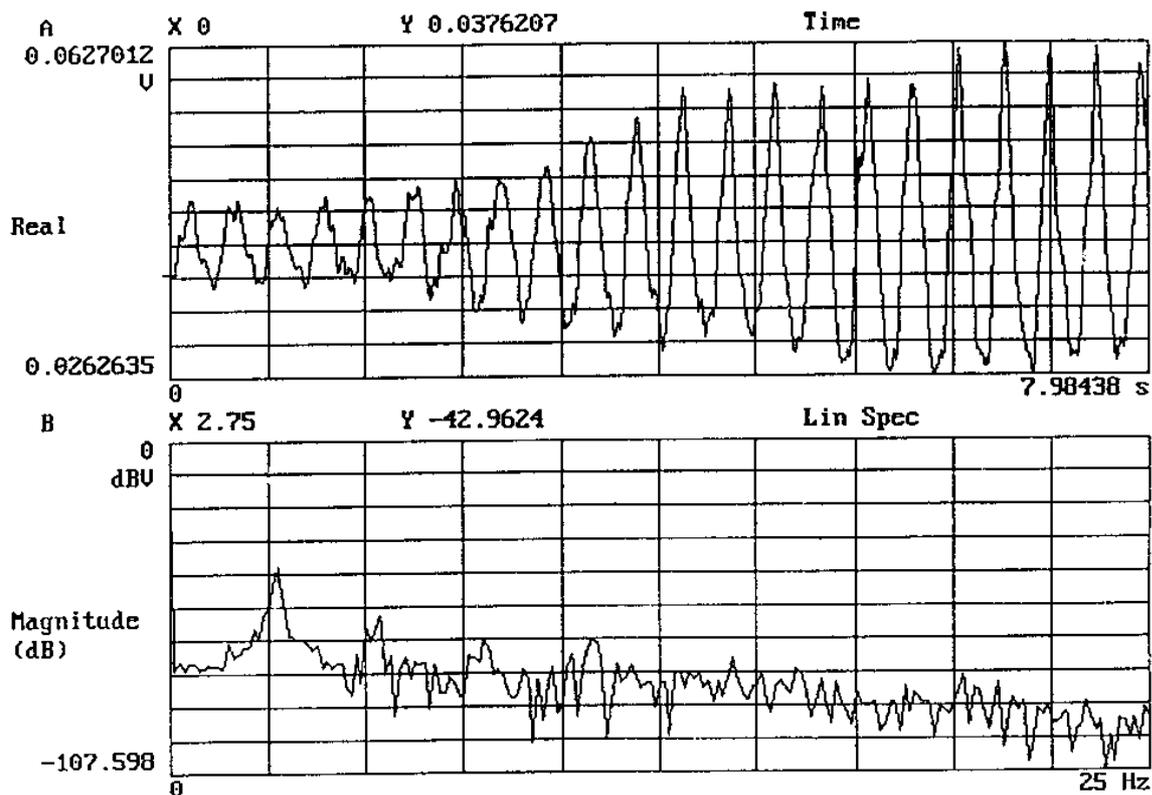
207 deflexões com amplitude de -0,6 mm e 355 deflexões com amplitude +0,6 mm

561 deflexões com amplitude de +1,2 mm

Deflexão estática máxima de  $0,5 \pm 0,05$  mm

Analisando estes valores devemos destacar que:

A máxima deformação estática + dinâmica medida foi de  $1,3 \pm 0,15$  mm, inferior aquela estimada de  $\delta_{r1} = 1,96$  mm e, ainda, muito inferior àquelas registradas nos ensaios anteriores que se enquadravam na faixa de  $\delta_{m1} = 3,89$  mm e apresentando a deformação residual de  $\delta_{r1} = 1,16$  mm.



Do registro contínuo gravado pelo Analisador verifica-se que a oscilação característica da arquibancada lotada tem amplitude de 0,14 mm e que no período curto do evento mais determinante a amplitude passa por valor máximo de 0,70 mm.

Em face dos resultados obtidos podemos concluir que:

- Os tratamentos executados corrigiram as anomalias constatadas conferindo monoliticidade às peças de concreto armado, reduzindo as deformações com o tratamento e reforço das seções fissuradas;

Foram corrigidas as sensações incômodas de trepidação oriundas da proximidade entre as vibrações induzidas e a frequência natural da estrutura, hoje, com a relação mínima de 3 Hz (induzida) para 12 Hz (natural). Esta condição foi subjetivamente confirmada pelos nossos engenheiros que participaram de todos os ensaios realizados, comprovando a eficiência dos serviços executados.

**PONTE DA FREGUESIA DO Ó**

A Ponte da Freguesia do Ó foi construída na década de 50 a fim de possibilitar a transposição do Rio Tietê e promover a expansão da cidade para a zona norte. Quando da elaboração do projeto foi previsto o gabarito para a futura construção de duas vias em cada margem do rio que, hoje se transformaram nas vias marginais do Rio Tietê. Os projetos originais contemplavam gabaritos até superiores aos necessários aos veículos da época, entretanto, os constantes recapeamentos das pistas de rolamento das marginais foram reduzindo-os de forma incontrolável até níveis que propiciavam constantes acidentes, com batidas de caminhões nas estruturas das pontes. Estes acidentes que ainda ocorrem com frequência em varias pontes sobre as vias marginais, tanto do Rio Tietê como as do Rio Pinheiros, ocorriam com frequência ainda maior na Ponte da Freguesia do Ó, face ao seu gabarito mais baixo.

Em abril de 1980, véspera de feriado da semana santa, a cidade de São Paulo sofre o primeiro grande congestionamento de transito provocado por batidas de caminhões em estruturas de obras de artes das marginais. Este acidente obrigou o DSV a implantar um esquema de emergência para evitar o caos, como foi qualificado pelas manchetes dos jornais da época. O choque do caminhão havia provocado o rompimento de todas as barras de aço da primeira camada de armaduras das duas primeiras vigas e, parcialmente, as da terceira viga do vão isostático da estrutura.

Os serviços de recuperação, contratados em caráter de emergência, consistiram simplesmente na reconstituição das características estruturais do projeto original através do encamisamento das vigas afetadas com a aplicação de concreto projetado. Estes serviços foram executados durante os feriados da semana santa e o tráfego foi liberado na segunda feira com duas horas de atraso, o que provocou um dramático congestionamento na região.

Com os serviços executados, o gabarito da ponte diminuiu em mais 5 cm e, nestas condições, mesmo com várias placas de advertência, de vez em quando surgia um caminhão entalado sob a estrutura da ponte.

Por volta de 1986, um novo acidente destruiu profundamente a primeira viga da ponte, anteriormente já reforçada. Novamente, os serviços de reconstituição foram contratados em caráter de emergência.

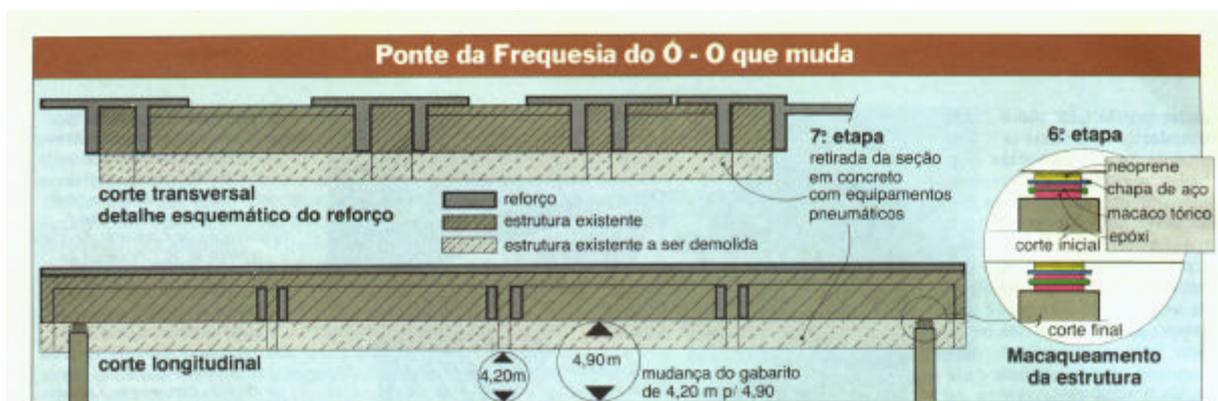
Os serviços executados restabeleceram as condições estruturais da ponte, porém, a principal causa dos acidentes não foi alterada, o gabarito da ponte, em face das várias complicações envolvidas para uma intervenção definitiva:

- O rebaixamento da pista da marginal provocaria uma área de inundação com o transbordamento da calha do Rio Tietê;
- O alteamento da integral da ponte não se mostrou viável devido a concepção do vão central em arco e o levantamento dos vãos isostáticos provocaria uma alteração total do greide da ponte e também dos acessos.

Por outro lado, freqüentemente o DSV era acionado para remover caminhões entalados sob a ponte e a manutenção desta situação não iria alterar a rotina de acidentes existentes naquele local.

No dia 11 de dezembro de 1990 um novo acidente com proporções graves, voltou a afetar a estabilidade da ponte. Chamados novamente para execução dos serviços de estabilização da estrutura, sugerimos que, desta vez, a solução a ser adotada deveria ser direcionada para eliminar a causa do problema.

Após vários estudos a equipe técnica da ESTE REESTRUTURA concluiu que a solução que melhor se apresentava seria a execução de vigas protendidas em forma de II, de menor altura estrutural, apoiadas em uma nova meso estrutura a ser executada. As cargas foram transferidas para os novos apoios através de macacos tóricos injetados com resinas epoxídicas e posicionados conforme croquis abaixo.



Esta solução viabilizou a obra nos aspectos técnico e econômico, proporcionando um novo gabarito para a ponte que, inicialmente com 4,20 m passou a 4,90 m. Solucionado o problema da Ponte da Freguesia do Ó, os problemas de gabarito insuficiente foram transferidos para as pontes vizinhas, na oportunidade com gabarito de altura inferior a 4,90 m, como a Ponte do Limão.

**A PONTE DOS REMÉDIOS**

Em 03/06/97, a Ponte dos Remédios sobre o Rio Tietê e Marginais em São Paulo entrou em processo de colapso, exigindo procedimentos de emergência. Sem manutenção estrutural desde sua construção em 1968, uma trinca com 1 cm de abertura na seção de 6 m de altura no Apoio 5 da Ponte Sul, ampliou-se bruscamente para uma rachadura com 15 cm. Foram realizados trabalhos de alto risco para evitar um acidente de grandes proporções, insegurança da população nas obras públicas e danos irreparáveis ao conceito da engenharia.

A Ponte dos Remédios sobre o Rio Tietê e Marginais na Cidade de São Paulo foi construída pelo DER-CEA em 1967/68. A travessia, que se desenvolve com escondade em relação ao Rio Tietê, assim como sobre as marginais de ambos os lados, é constituída de duas obras isoladas no centro por canteiro central, com largura total de 24 metros.

Uma das primeiras obras brasileiras concebidas para construção pelo processo de balanços sucessivos, a estrutura de cada obra pode ser descrita pelas seguintes características:

- Três vãos isostáticos de 30 metros como estrutura em grelha de 4 vigas protendidas no acesso no lado de Osasco, com altura estrutural de 2,50 metros.
- Trecho central em dois caixões de seção variável, protendidos longitudinalmente para vencer os 3 (três) vãos contínuos, ou seja, dois vãos extremos de 73 metros e um vão central de 96 metros. Neste trecho, a altura estrutural varia de 2,50 metros nos apoios extremos e centro do vão do rio para 6,00 metros nos apoios centrais;
- Dois vãos isostáticos de 30 metros como estrutura em grelha de 4 vigas protendidas no acesso no lado da cidade de São Paulo, com altura estrutural de 2,50 metros.



**O ACIDENTE**

No dia 03 de junho de 1997, um funcionário da Prefeitura de São Paulo que passava com frequência pelo local, notou que ocorrera uma grande deformação no vão central da ponte. Acionados os órgãos competentes, a ponte foi interditada, originando o grande drama que afetou o cotidiano da Cidade de São Paulo. O fato repercutiu em todo sistema viário da região Centro/Sul por se tratar da interligação das principais rodovias do Brasil.

Ao chegarmos ao local deparamos com o desenvolvimento de um mecanismo de ruptura no trecho central caracterizado pela existência já de três rótulas plásticas, uma no apoio central do lado de Osasco que apresentava uma trinca com uma abertura de 15 cm na laje superior, e outras duas dispostas nos terços dos vãos contíguos a este apoio.



Trinca no Apoio 5, vista lateral.



Vista superior.

O trabalho em arco do vão central, no decorrer do processo, deu origem a grandes esforços horizontais de compressão, esforços estes que foram transmitidos aos pilares e encontros através das vigas protendidas dos vãos de 30 metros. A ação destes esforços nos banzos inferiores, já comprimidos pela protensão das referidas vigas, esgotou as tensões resistentes em pontos localizados de algumas das peças.



Trinca no vão central.



Detalhe da trinca pelo lado interno.

No exame da seção rompida, observou-se que os 18 cabos que deveriam estar dispostos na primeira camada (canaleta na face superior da laje) não foram encontrados e que quase todos os 10 cabos da segunda camada apresentavam-se rompidos (em primeiro exame verificou-se 26 cabos rompidos por viga). Segundo os detalhes do projeto, estes cabos de 12 fios de 7 mm de Aço Duro para protensão 140/160 e considerados como unidades de protensão não aderentes para 40 tf. Avaliada com base nos conhecimentos técnicos atuais, esta unidade de protensão teria apenas competência efetiva da ordem de 34 tf.



Cabos oxidados e rompidos.



Ruptura das vigas dos vãos extremos.

Estas condições refletiam uma perda de resistência nas seções próximas deste apoio da ordem de 74% (setenta e quatro por cento) da solicitação com estrutura descarregada.

Refletindo sobre as condições em que aconteceram as anomalias, devemos ressaltar que, em face das grandes aberturas das trincas, os outros cabos ainda não prejudicados pela corrosão teriam rompido se fossem aderentes e o colapso poderia ter ocorrido.

Esta condição refletiu-se na estrutura dos três vãos contínuos transformando-a, praticamente, em vão extremo isostático (vão sobre as marginais do lado Osasco) e dois vãos contínuos, visto que o esgotamento da seção do outro apoio não havia ocorrido, apesar da ampliação sensível dos esforços nesta seção com a formação das rótulas.

## **ANÁLISE DAS CAUSAS**

Apesar de acreditarmos que todos os esforços tenham sido concentrados no sentido de atender aos procedimentos técnicos conhecidos nos anos 60, devemos reconhecer que a insipiente tecnologia mundial do concreto protendido da época é uma das causas da baixa durabilidade das obras construídas no período.

Nos dias de hoje, é conhecimento notório que o aço de protensão disponível naquela oportunidade e utilizado na obra, o Aço Duro para protensão 140/160, não era aliviado de tensões, portanto, sujeito a deformações lentas por relaxamento com percentuais muito maiores que os adotados para cálculo. As bainhas de folha de flandres utilizadas não garantiam a vedação perfeita na concretagem e criavam atritos que reduziam sensivelmente a eficiência da protensão. As injeções de nata de cimento, executadas com bombas manuais, não garantiam nem a aderência da armadura, nem a proteção contra *stress corrosion*.

Realizado o cadastramento das anomalias existentes na estrutura, confirmaram-se as informações colhidas de não terem sido realizados serviços de manutenção desde a sua construção. Por outro lado, constatou-se que haviam sido implantadas defensas ladeando as pistas e refeito o pavimento com espessuras muito superiores àquelas previstas em projeto.

A falta de manutenção preventiva aliada à ampliação das cargas permanentes e à relaxação da armadura de protensão, deu origem a abertura de fissuras na seção de momento máximo negativo, ou seja, nos apoios centrais. Segundo informações colhidas há cerca de um ano atrás, uma destas fissuras, a do Apoio 5 da Ponte Sul, apresentava já uma abertura da ordem de 1 cm.

Devemos então deduzir que, com o passar do tempo, a infiltração de águas aliada a uma deficiente injeção de calda de cimento nas bainhas, acelerou o processo de corrosão dos fios componentes dos cabos mais superficiais da seção. Desta forma, iniciou-se o processo progressivo de ruptura dos cabos de protensão até o instante em que os esforços solicitantes em serviço ultrapassaram o estado limite último daquela seção específica.

A formação da rótula plástica neste apoio (Apoio 5) aumentou as solicitações nas seções dos vãos adjacentes, locais onde surgiram novas rótulas, e a estrutura deste trecho central somente não perdeu estabilidade em virtude de que a seção do apoio oposto resistiu ao esforço majorado daí resultante.

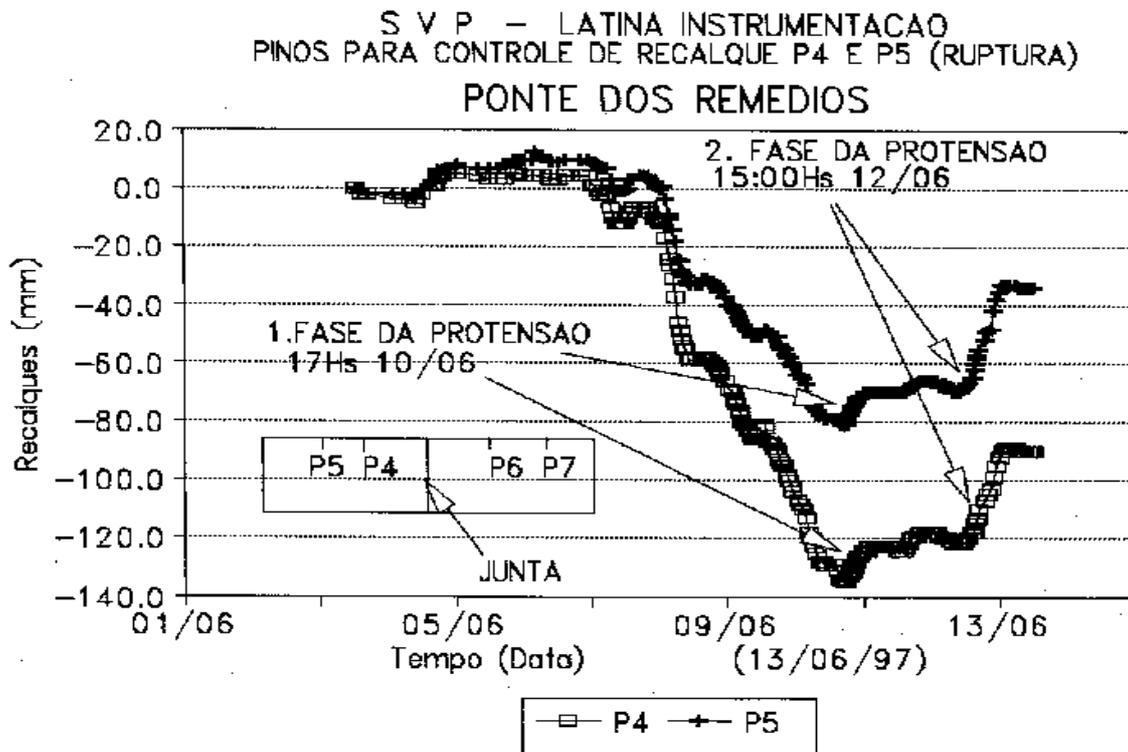
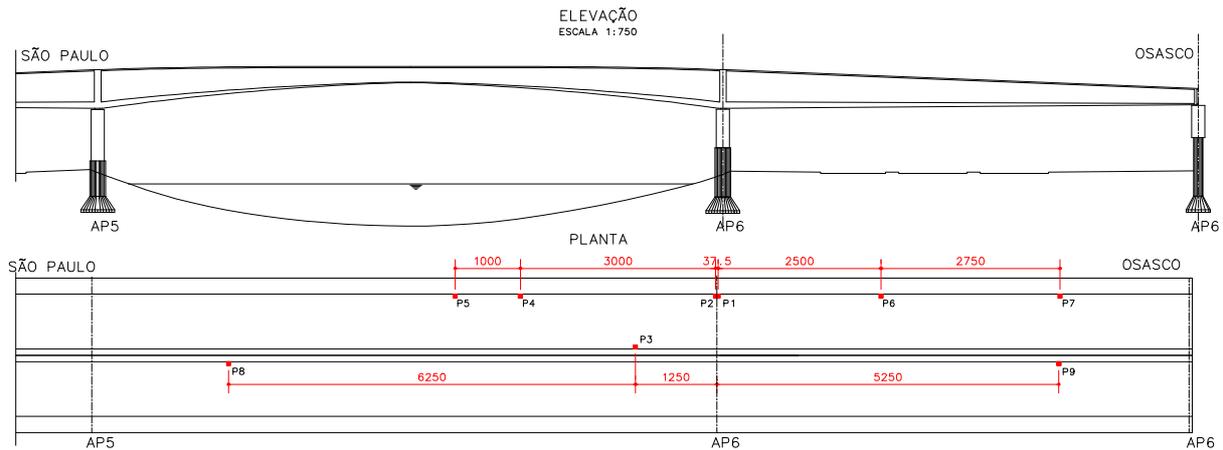
## **PROCEDIMENTOS DE EMERGÊNCIA E RECUPERAÇÃO DA OBRA**

Face ao quadro crítico que se encontrava a obra, foram adotados os seguintes procedimentos de emergência:

- Interdição da obra e das pistas das marginais que passam sob a ponte.
- Instalação de equipamentos para o monitoramento da estrutura em pontos predeterminados nas duas estruturas.

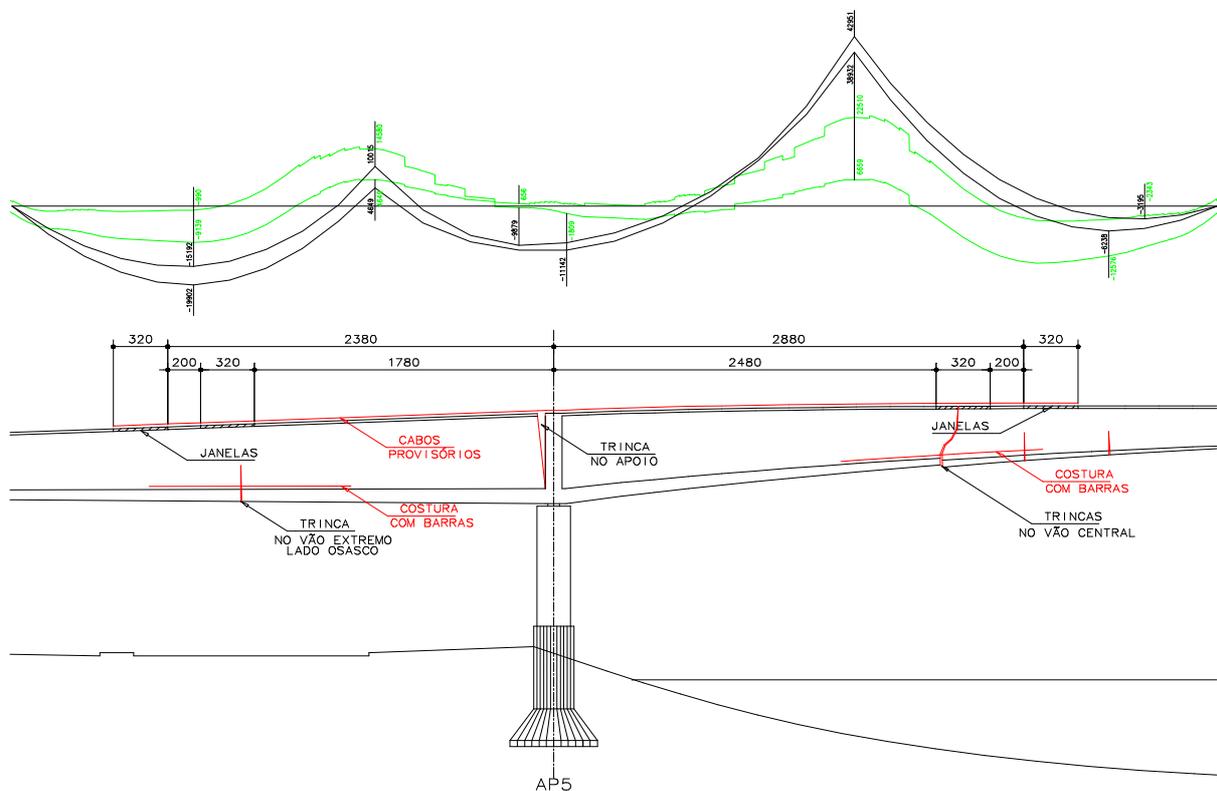
Durante a execução dos serviços iniciais, o monitoramento das deformações permitiu acompanhar a procura da estrutura por novas condições de equilíbrio. Esse equilíbrio, ressalta-se, não era estável até o momento em que foram protendidos os tirantes que ampliaram a resistência da referida seção.

A análise dos resultados do monitoramento da velocidade das deformações foi realizada constantemente nos pontos específicos. O croquis em seqüência mostra a localização desses pontos.



Determinou-se também que, no caso de se perceber qualquer anomalia, como o crescimento da velocidade das deformações da estrutura sob monitoramento, a obra deveria ser imediatamente evacuada. Este fato ocorreu em 4 (quatro) oportunidades, sendo que a mais crítica ocorreu na noite do quinto dia de trabalho, quando a temperatura registrada foi a mais baixa do período e a movimentação da estrutura chegou a uma velocidade de 6 mm/15 min, provocando sons (estalos) de rompimento do concreto, exigindo a fuga imediata dos operários e técnicos que trabalhavam naquele momento.

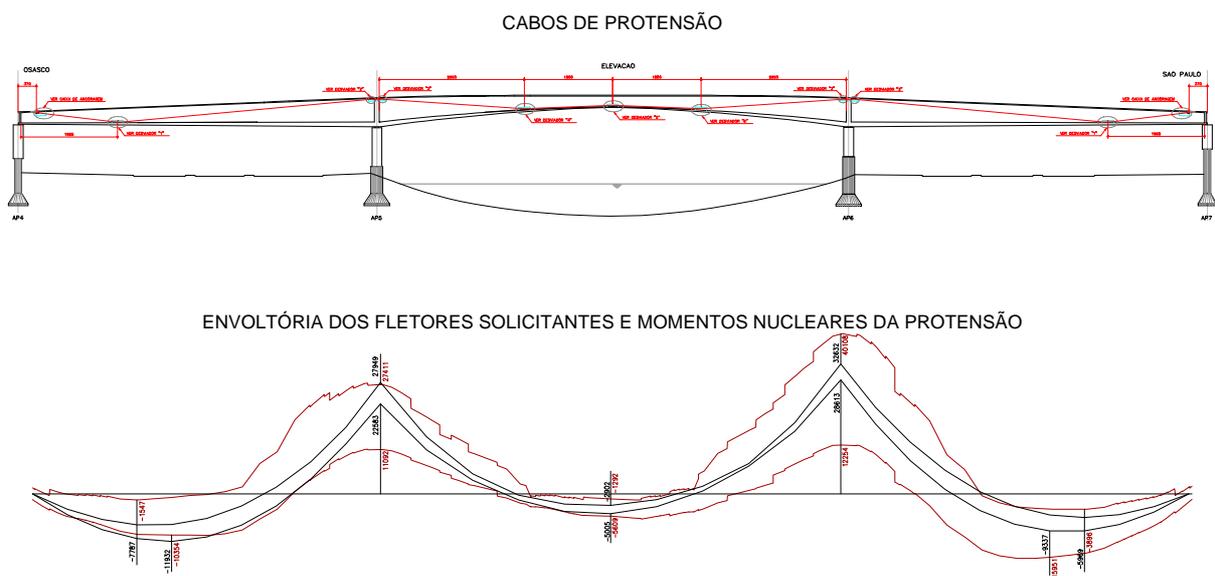
- Execução de operação para o alívio de cargas, reduzindo os riscos de uma ruptura brusca, com a remoção do pavimento. Foram abertas janelas para acesso aos caixões, tomando-se o cuidado de não abalar os cabos existentes. Devido à gravidade do estado da obra, estes serviços foram executados com equipamentos pneumáticos leves.
- Projeto e execução do escoramento com torres tubulares e perfis metálicos com fundação direta sobre o pavimento e fundação em estacas injetadas fora desta área, nos dois extremos do trecho central, sobre as marginais.
- Projeto e execução do reforço com cabos protendidos na laje superior na região do apoio central e a costura das trincas principais, no sentido de sustar o processo de ruptura, ampliando-se a resistência das rótulas.



A protensão foi realizada em duas etapas, a primeira, cordoalha por cordoalha, com 50% (cinquenta por cento) da carga prevista com o objetivo de sustar as deformações crescentes do tabuleiro. Terminada esta etapa foi executada a costura das trincas de vão que apresentavam um rápido processo de fechamento. Neste tempo, com o crescimento da resistência do concreto dos blocos, tornou-se seguro realizar o término da protensão destes cabos preliminares.

Sustado o processo de colapso da estrutura com a conclusão dos serviços de escoramento dos vãos sobre as marginais e da primeira etapa de protensão da laje, foi aberto o tráfego das marginais e realizada uma vistoria completa da obra para a anotação de todas as anomalias resultantes do processo, passando-se então a analisar em detalhes as condições reais de recuperação, com a comparação dos esforços solicitantes finais e os resistentes residuais. Verificada a plena viabilidade de recuperar integralmente os parâmetros normais de segurança e utilização da obra, foi estabelecido o seguinte planejamento de serviços:

- Grauteamento e injeção das trincas;
- Execução da protensão dos cabos no outro apoio;
- Execução do reforço com protensão dos cabos complementares que se desenvolvem ao longo de todo o tabuleiro central, objetivando a reposição das perdas de protensão ocorridas nestes 30 anos. A execução das ancoragens e desviadores, montagem e protensão destes cabos de 10 cordoalhas de CP 190 RB-15,2 pelo interior dos caixões seguiram, com rigor, os detalhes e especificações técnicas fornecidos em projeto;



- Restauração das vigas do vão de 30 m lado Osasco que haviam rompido por compressão;
- Restauração das anomalias localizadas, como armaduras expostas no interior dos caixões, ajuste ou substituição dos aparelhos de apoio dos vãos de acesso e reinjeção dos cabos originais;
- Execução do pavimento alteado em concreto estrutural de alta competência (concreto com micro-sílica) e incorporado à laje do tabuleiro através de colmeias de concreto celular.

Considerando a gravidade dos problemas envolvidos na ocorrência que quase resultou na destruição brusca da Ponte dos Remédios, julgou-se indispensável comprovar publicamente a eficiência do programa de recuperação realizado através de ensaios de carga x deformação ao limite máximo de carregamento móvel para o qual a obra foi projetada. Objetivando acionar solicitações mais próximas possíveis daquelas calculadas como determinantes, foram realizados seis carregamentos seqüenciais no tabuleiro central, trecho crítico da obra.



A análise comparativa das deformações teóricas com as medidas durante o ensaio, permitiu concluir que a estrutura restaurada apresenta comportamento elástico para os carregamentos máximos em serviço.

## CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados podemos concluir que as obras em questão apresentam condições plenas de recuperação das características de resistência, segurança, funcionalidade e durabilidade idênticas as de uma obra nova. Após a execução deste trabalho, devemos enaltecer o pioneirismo da Prefeitura do Município de São Paulo que, primeira a publicar um Código de Obras e adotar como Lei as Normas Brasileiras, demonstra hoje de forma incontestável que com os produtos disponíveis e a tecnologia atual, a Engenharia Nacional tem competência para restaurar, recuperar e reforçar qualquer tipo de estrutura viária.