

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Construção Civil

ISSN 0103-9830
BT/PCC/500

**Inspeção, diagnóstico e procedimento de
reabilitação de postes de concreto armado.**

Paulo Eduardo Barbosa
Paulo Roberto de Lago Helene

São Paulo – 2008

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Construção Civil
Boletim Técnico – Série BT/PCC

Diretor: Prof. Dr. Ivan Gilberto Sandoval Falleiros
Vice-Diretor: Prof. Dr. José Roberto Cardoso

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Orestes Marracini Gonçalves
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

Conselho Editorial
Prof. Dr. Alex Abiko
Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso
Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.
Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves
Prof. Dr. Paulo Helene
Prof. Dr. Cheng Liang Yee

Coordenador Técnico
Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

Este texto faz parte da tese de doutorado de título “Inspeção, diagnóstico e procedimento de reabilitação de postes de concreto armado”, que se encontra à disposição com os autores ou na biblioteca da Engenharia Civil.

FICHA CATALOGRÁFICA

Gasparim, José Carlos
Inspeção, diagnóstico e procedimento de reabilitação de postes de concreto armado. – São Paulo : EPUSP, 2008.
14 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/500)

1. Concreto 2. Reabilitação 3. Fibra de carbono 4. Pré-moldado I. Helene, Paulo Roberto do Lago II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil III. Título IV. Série

ISSN 0103-9830

TÍTULO

Inspeção, Diagnóstico e Procedimento de Reabilitação de Postes de Concreto Armado.

RESUMO

Postes tubulares pré-moldados de concreto armado foram instalados no Brasil pelas empresas de telefonia móvel ao implantar ou ampliar áreas de cobertura do sistema a partir de 1996. Alguns desses postes colapsaram depois de três ou quatro anos de utilização. Todos os colapsos conhecidos desses postes ocorreram com ruptura na emenda entre o módulo tubular 1, engastado ao solo, e o seguinte módulo.

O diagnóstico apontou a fadiga devido ao excesso de armadura na emenda por traspasse, com taxas variando de 8,5% a 18,2%. Essas taxas efetivas de armadura superaram em muito o limite máximo permitido por norma e recomendável do ponto de vista de transmissão de esforços nessa região.

A solução estudada consiste em preencher o fuste do poste na região do traspasse com graute de elevada resistência mecânica e realizar confinamento passivo com uma camada de fibra de carbono, reduzindo as taxas de armadura a níveis adequados e assegurando confinamento da emenda.

O custo da reabilitação desenvolvida nesta tese é, em média, de um terço à metade do valor da substituição do poste por uma torre metálica, o que a torna uma alternativa altamente atrativa para as empresas do setor, contribuindo para a solução de um grave problema nacional de engenharia (ciência aplicada).

Palavras-chaves: Concreto, Reabilitação, Fibra de Carbono, Reforço, Pré-moldado.

ABSTRACT

Precast centrifugally spun reinforced concrete posts were installed in Brazil by mobile telephone companies when implanting or to enlarge areas of covering of the system starting from 1996. Some of those posts collapsed after three or four years of use. All of the known collapses of those posts happened with rupture in the development length between the first module (fixed to the ground) and the second module.

The diagnosis pointed the fatigue due to elevate percentage of reinforcement at the joint area, between 8.5% to 18.2%. Those rates exceed considerably the maximum limit allowed by standards and advisable limited to guarantees adequate conditions for stress transfer in that area.

The proposed solution consists in filling the section of the poles in the joint area with high mechanical strength grout and to accomplish passive confinement with a layer of carbon fiber, reducing the reinforcement rates at appropriate levels and assuring joint confinement.

The rehabilitation cost of the solution developed on this dissertation vary, on average, from a third to a half of cost to replace the structure by a metallic tower, which provides an attractive alternative for the companies in this business, contributing to the solution of a serious national problem of engineering (applied science).

Keywords: Concrete, Rehabilitation, Carbon Fiber, Reinforcement, Precast.

INTRODUÇÃO

Postes pré-moldados de concreto centrifugado, armado, foram instalados no Brasil pelas empresas de telefonia móvel ao implantar ou ampliar áreas de cobertura do sistema à partir de 1996. A grande maioria desses postes, da ordem de dois mil unidades, foram fabricados por uma mesma empresa, pelo processo de centrifugação. A Fig. 1 apresenta um desses postes instalados. As alturas variam de 20m, 30m, 40m, 50m e 60m.

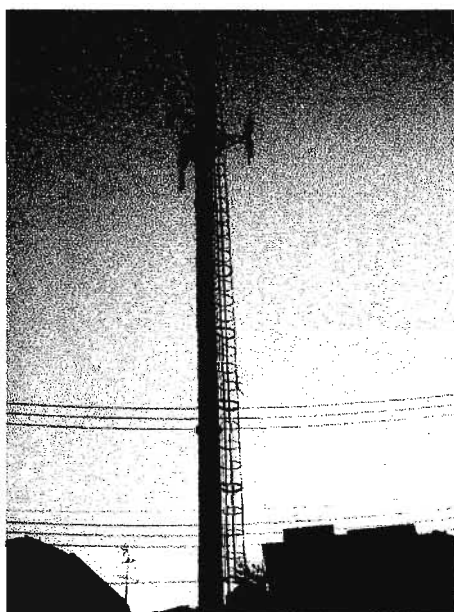


Figura 1. Exemplo de um dos postes de concreto armado instalados.

Esses postes são compostos por vários módulos (para permitir seu transporte e montagem) unidos por um flange metálico, conforme mostrado na Fig. 2. A espessura média da parede desses postes é de 10 cm e os diâmetros variam de 60 a 100 cm.

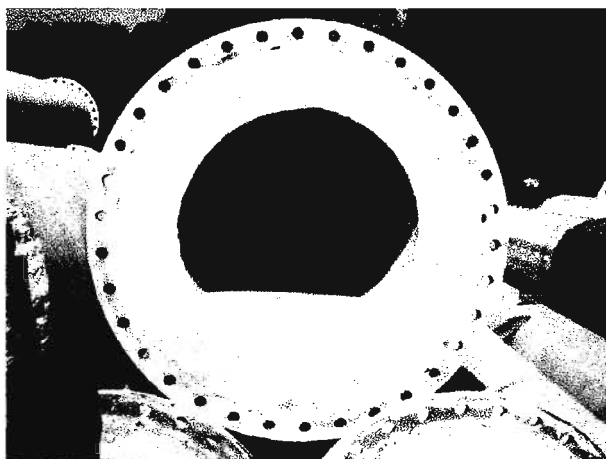


Figura 2. Flange metálico de união entre os módulos.

Alguns desses postes colapsaram após alguns anos de utilização, tendo-se conhecimento de quatro deles, nos estados de São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul. Todos os colapsos conhecidos desses postes, ocorreram com ruptura na emenda por traspasse entre o módulo (segmento) tubular 1, engastado ao solo, e o seguinte módulo (segmento 2), conforme se pode observar nas Figs. 3, 4 e 5.

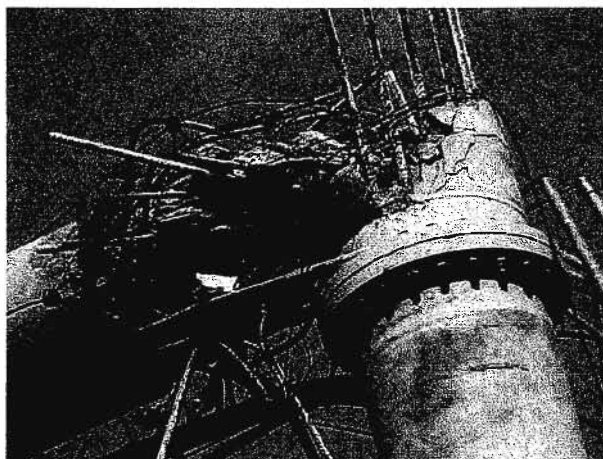


Figura 3. Vista da região de ruptura de poste de concreto armado, centrifugado e pré-moldado.

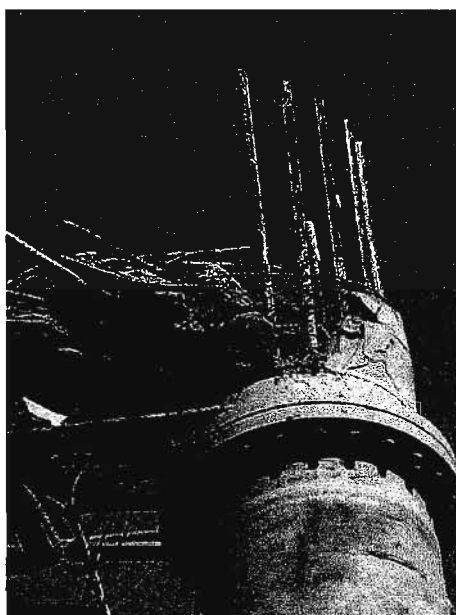


Figura 4. Vista em detalhe da região de ruptura do poste.

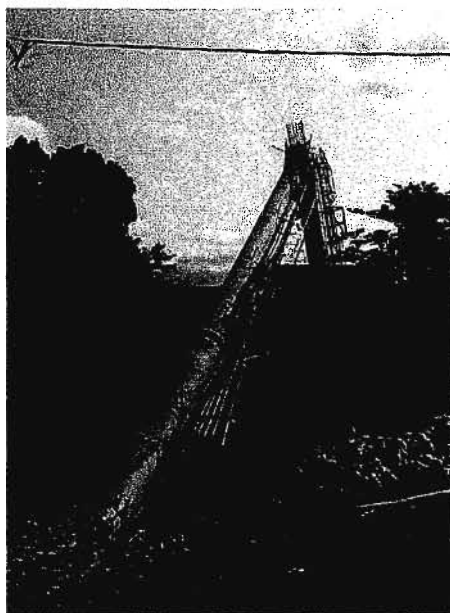


Figura 5. Vista geral do colapso de poste de concreto armado.

INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

A avaliação "in-situ" de mais de 40 desses postes aliada à análise dos projetos dos mesmos mostrou que há deficiência de armaduras para resistir aos esforços gerados pelo vento de projeto que varia de 40 a 45m/s nas regiões onde os postes estudados foram instalados. Essa deficiência à flexão ocorre, pois em boa parte dos projetos não foram considerados efeitos de 2ª ordem nem carregamento dinâmico. A Fig. 6 mostra uma das verificações realizadas, em poste de 40m de altura, onde se pode verificar que os esforços solicitantes tanto dinâmicos quanto estáticos quando se leva em consideração o efeito de 2ª ordem são superiores aos esforços resistentes até uma altura aproximada de 15m.

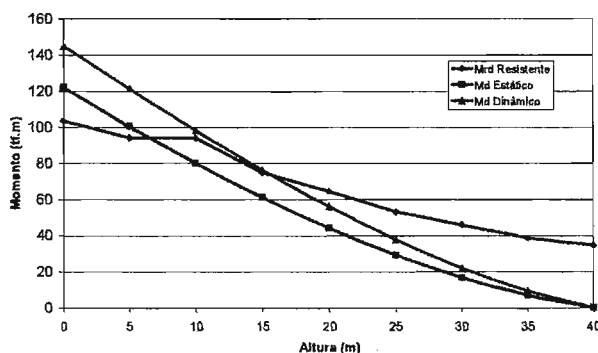


Figura 6. Momentos solicitantes estáticos e dinâmicos e momento resistente de poste de 40m.

A elevada incidência de fissuras de flexão (incipientes, com aberturas inferiores a 0,3mm) foi justificada pelo baixo módulo de elasticidade do concreto utilizado, que por ser centrifugado, concentrou os agregados graúdos próximos à fôrma, fazendo com que boa parte da seção transversal seja composta por argamassa, que embora tenha a mesma resistência da seção com brita é mais deformável. Essa afirmativa pode ser observada na Fig. 7. O módulo de elasticidade secante médio encontrado foi de 22GPa enquanto o especificado no projeto era de 41 GPa.

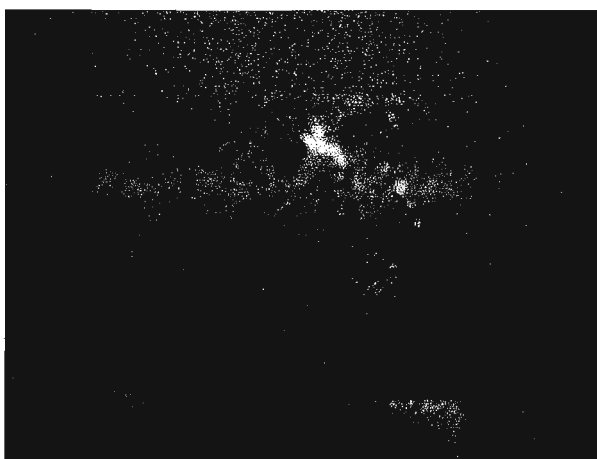


Figura 7. Heterogeneidade do concreto centrifugado utilizado nos postes.

Embora os problemas acima sejam importantes, necessitando de reforço à flexão complementar para fazer frente ao vento máximo de projeto e de proteção contra corrosão de armaduras pelas fissuras geradas pela maior deformabilidade da estrutura, esses problemas não são responsáveis pelos colapsos ocorridos, na medida em que não se vê fissuras com aberturas elevadas na base, indicando escoamento de armaduras ou rupturas típicas de flexão. Como se pode observar na Fig. 8, as armaduras soldadas no flange metálico continuam verticais e ainda apresentam ranhuras, mostrando que não foram solicitadas à flexão.

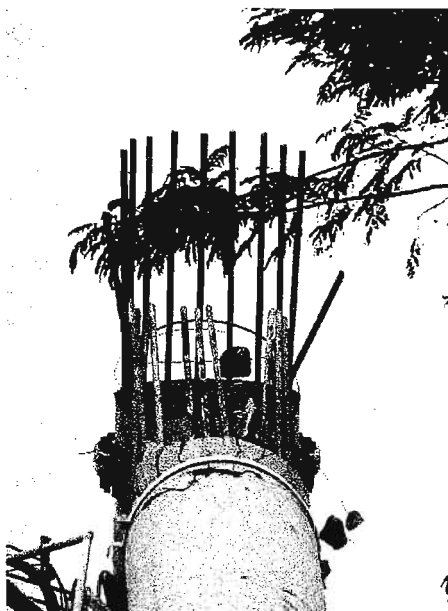


Figura 8. Observar que as armaduras longitudinais da região de emenda por traspasse e que estão soldadas à flange permaneceram verticais indicando que o concreto rompeu sem as solicitar a flexão.

Como todos os colapsos ocorreram na região de traspasse, realizou-se uma inspeção mais detalhada nessa área visando determinar a causa desses acidentes. A empresa Construtora desses postes, ao invés de soldar a própria armadura longitudinal do poste na flange metálica, decidiu soldar à flange barras de arranque com 117cm de comprimento. Essas barras deveriam transferir, por traspasse, os esforços para a armadura longitudinal do poste.

Desde que respeitadas alguns princípios gerais e que sejam atendidas as exigências de normas técnicas essas emendas por traspasse e flanges metálicas poderiam funcionar adequadamente conferindo segurança e estabilidade aos postes.

Infelizmente não foi o que ocorreu neste caso, pois essas emendas não respeitaram as exigências técnicas das normas. A Tabela 1 mostra a conformidade dessa emenda em relação aos itens especificados pela norma brasileira NBR-6118 que é similar às normas ACI 318 e Model Code CEB-FIP 90.

Tabela 1. Estado das emendas por traspasse em relação às recomendações de norma.

exigências da norma técnica NBR 6118	specification	as built	conformidade	
relativas à taxa de armadura	deve ocupar menos de 8% da área da seção transversal	≤ 8%	8,5% a 18,2%	não
relativas ao diâmetro das armaduras longitudinais	deve ser maior do que 10 mm	≥ 10 mm	25mm ou 32mm	sim
	deve ser inferior à 1/8 da menor dimensão transversal	≤ 12,5 mm	25mm ou 32mm	não
relativas ao comprimento de traspasse	deve ser maior do que o comprimento de traspasse para barras tracionadas isoladas	≥ 140cm (φ25mm) ≥ 181cm (φ32mm)	117cm	não
relativas à armadura transversal (estribos)	deve resistir à força de uma barra emendada	≥ 213kN (φ25mm) ≥ 350kN (φ32mm)	120kN	não
	deve ser constituídas por barras fechadas	estribos helicoidais	não são helicoidais	não
	deve se concentrar nos terços finais da emenda	concentrado nos 80cm finais	geometricamente espaçados	não

Nessa região foi constatado um excesso de armadura, com taxas variando de 8,5% a 18,2%, conforme discutido a seguir. Essas taxas ou concentrações efetivas de armadura superam em muito o limite máximo razoável, que entre outras finalidades busca assegurar condições favoráveis de transmissão de esforços nessa região.

Diante da análise apresentada, as rupturas dos postes indicam a ocorrência da fissuração do concreto das bielas que deveriam transferir os esforços entre as barras de aço emendadas por traspasse. Essa destruição do concreto que envolvia as barras de aço das emendas pode ser explicada por um comprimento de traspasse deficiente para que todas as barras pudessem ser emendadas na mesma região da peça estrutural, com barras de aço de bitolas incompatíveis com a espessura da parede de concreto dos tubos, e por uma porcentagem de armadura, referida ao concreto de envolvimento das barras, acima de qualquer limite tolerável. A medida em que o tempo passa e essas juntas são submetidas a carregamentos cíclicos, o concreto responsável pelo funcionamento das juntas tende a ser destacado, a ser destruído.

Esse diagnóstico é corroborado pelas informações obtidas sobre um poste que caiu no Estado de São Paulo, segundo laudo pedido pela justiça para apurar as causas do acidente ocorrido:

- No dia do colapso, o registro máximo de rajada na região do poste indicou velocidade de 15 m/s, muito aquém da velocidade de projeto de 40 m/s;
- O poste, projetado para um carregamento máximo de antenas de 12m² no topo, estava na ocasião da ruína com um carregamento equivalente a apenas 3m²;
- A análise visual dos escombros da torre indicou que a falha de fato se deu por escorregamento entre as barras de aço e o concreto na região da emenda, ou seja, deficiência da transmissão de esforços na região do traspasse de barras;
- A hipótese mais provável para o mecanismo de colapso da torre como sendo o dano cumulativo sofrido pela interface entre concreto e barras de aço, devido aos esforços provocados por ventos de intensidade moderada, ao longo da vida da estrutura;
- Esta hipótese é corroborada pelo fato de que a torre já havia apresentado sinais de dano na região da emenda, sob forma de fissuras aparentes na face externa da torre.

Como mostrado acima, essas falhas de projeto e de construção independem do nível de cargas atuantes nos postes e podem acarretar, por efeito cíclico de fadiga, a destruição progressiva por tração do concreto nessa região de emenda, induzindo o colapso do poste por uma ação de vento qualquer como parece ser o diagnóstico dos casos de colapso já ocorridos.

REFORÇO DAS EMENDAS

O reforço proposto para esta emenda deficiente consiste em preencher o fuste do poste na região do traspasse (150cm acima e abaixo da flange) com graute de elevada resistência mecânica ($f_{c28\text{dias}} = 50\text{MPa}$) e realizar confinamento passivo com uma camada de fibra de carbono CF-130 nessa mesma região, conforme esquema da Fig. 9, de forma a impedir um possível deslocamento das armaduras.

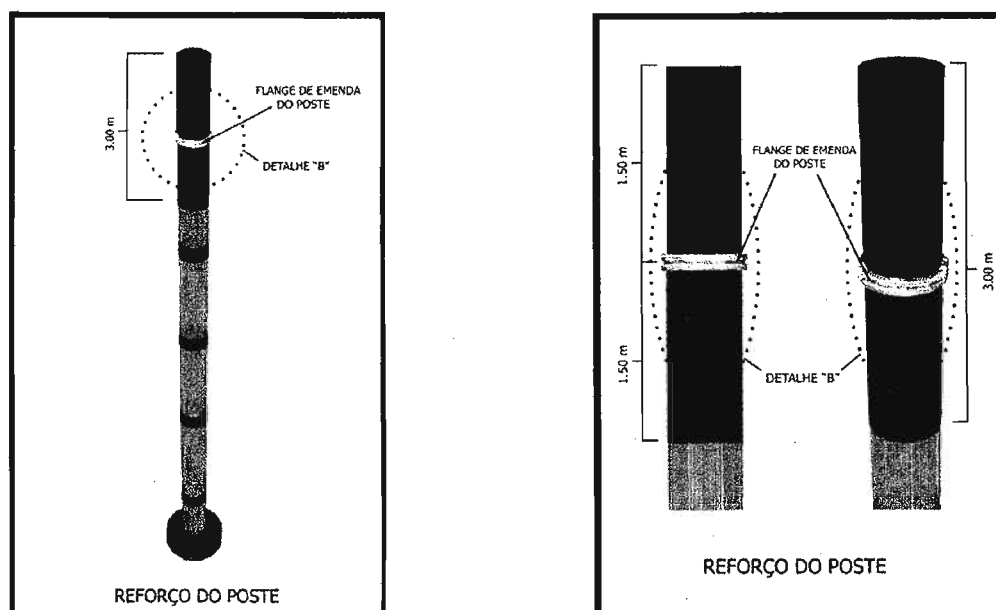


Figura 9. Esquema do reforço proposto e aprovado para a região do traspasse dos postes de concreto centrifugados.

Com o poste reforçado dessa maneira, todos os parâmetros tecnológicos que garantem a eficiência da emenda por traspasse, passam a ser atendidos, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros do poste na região da emenda após reforço com graute e fibra de carbono.

exigências das normas técnicas		recomendado	reforçado	conformidade
relativas à taxa de armadura	deve ocupar menos de 8% da área da seção transversal	$\leq 8\%$	0,9% a 2,3%	sim
relativas ao diâmetro das armaduras longitudinais	deve ser maior do que 10mm	$\geq 10\text{ mm}$	25 ou 32 mm	sim
	deve ser inferior à 1/8 da menor dimensão transversal	$\leq 75\text{ mm}$	25 ou 32 mm	sim
relativas ao comprimento de traspasse	deve ser maior do que o comprimento de traspasse para barras tracionadas isoladas	$\geq 66\text{cm}$ ($\phi 25\text{mm}$) $\geq 91\text{cm}$ ($\phi 32\text{mm}$)	117cm	sim

relativas à armadura transversal (estribos)	deve resistir à força de uma barra emendada	≥ 213kN (φ25mm) ≥ 350kN (φ32mm)	986 kN	sim
	deve ser constituídas por barras fechadas	estribos helicoidais	Confinado por fibra de carbono	sim
	deve se concentrar nos terços finais da emenda	concentrado nos 80cm finais	Confinado por fibra de carbono	sim

Como se verifica na Tabela 2, após o reforço utilizado como intervenção corretiva desse problema generalizado e congênito de todos os postes, o poste passa a atender a legislação e normas técnicas vigentes no país. Para comprovar a eficiência desse reforço foi realizado um ensaio em escala real com módulos que já haviam sido desmontados.

ENSAIOS REALIZADOS

Foram realizados dois ensaios com corpos-de-prova não reforçados e dois com corpos-de-prova reforçados. Os corpos-de-prova reforçados foram preparados da mesma forma que os postes reforçados na prática, inclusive com a utilização da mesma mão-de-obra. A Fig. 10 ilustra a execução do reforço em um dos módulos ensaiados.



Figura 10. Aplicação da fibra de carbono em um dos módulos ensaiados em laboratório.

Cada corpo-de-prova foi composto por dois módulos idênticos, cortados com 6m de comprimento cada, unidos pela flange metálica, formando uma viga de seção circular vazada com emenda no meio do vão. Cada corpo-de-prova foi montado na estrutura de reação do Laboratório de Estruturas, utilizando um dispositivo em forma de berço em cada apoio e respectivos pórticos de reação. A Figs. 11 e 12 ilustram o esquema de ensaio utilizado.

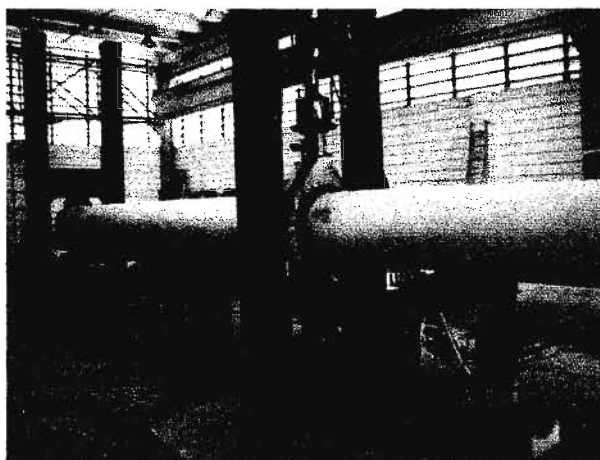


Figura 11. Esquema de ensaio realizado (módulos sem reforço).

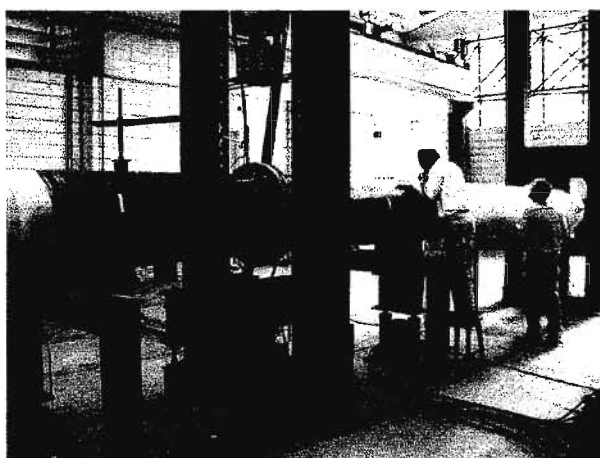


Figura 12. Esquema do ensaio realizado (módulos reforçados).

Os corpos-de-prova receberam uma leve demão de pintura branca à base de cal, para facilitar a visualização das fissuras que surgiriam durante os ensaios. Para reproduzir os esforços de vento a que a estrutura está submetida durante sua utilização foi introduzido um carregamento cíclico de 400 ciclos (sendo 200 com 15%, 150 com 20% e 50 com 30% da carga teórica de ruptura da seção transversal do meio do vão), em seguida a peça foi rompida estaticamente. As forças necessárias para solicitar os corpos-de-prova foram introduzidas por meio de dois procedimentos:

a) no caso de carregamento cíclico, foi disposto um atuador servo-hidráulico de dupla ação (controlado por equipamento programável, capaz de controlar a intensidade e a velocidade de aplicação das forças e dos deslocamentos) marca Instron, com capacidade máxima de 500kN, tanto na tração como na compressão. Esse atuador ficava preso a um pórtico de reação numa extremidade, e na outra, aos flanges dos corpos-de-prova, por intermédio de uma articulação e um dispositivo de ligação feito de chapas de aço;

b) no caso do ensaio monotônico, foram dispostos na seção de aplicação de cargas conjuntos de três cilindros hidráulicos de ação simples, sendo que as forças eram aplicadas inicialmente por um par de cilindros de menor capacidade, até se atingir o curso máximo dos mesmos. Após isso, a força era transferida ao terceiro cilindro, de maior capacidade, que continuava a aplicar a força e dava continuidade à deformação do corpo-de-prova.

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MÓDULOS NÃO REFORÇADOS

As duas rupturas observadas com postes não reforçados ocorreram devido à falha da emenda por traspasse, com a presença de fissuras mapeadas, longitudinais, mostrando as bielas de compressão do concreto. Um exemplo das rupturas ocorridas nesses ensaios é apresentado na Fig. 13.

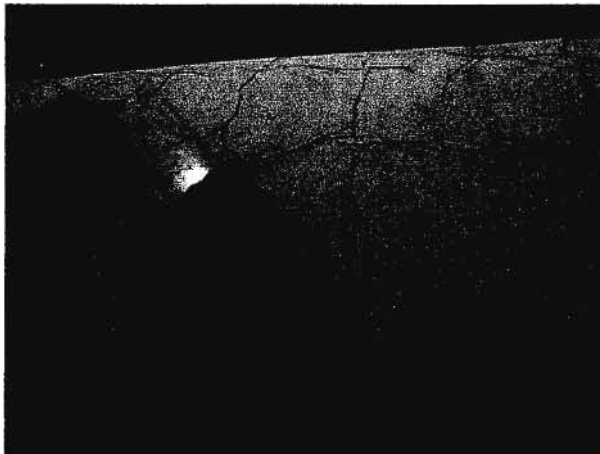


Figura 13. Ruptura de ensaio com módulos não reforçados.

Outro indício que corrobora a afirmação de que o mecanismo de colapso desses postes ensaiados sem reforço se deu pela falha da emenda por traspasse é que o gráfico de tensão-deformação de todos os ensaios não reforçados mostram ruptura frágil, típica desse tipo de falha.

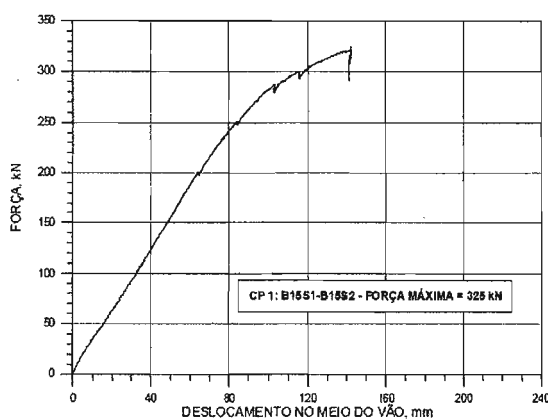


Figura 14. Exemplo de diagrama tensão-deformação de ensaio não reforçado, mostrando ruptura frágil.

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MÓDULOS REFORÇADOS

Essa ruptura ocorreu na seção transversal do poste imediatamente depois do flange metálico (área sujeita ao maior momento fletor), conforme mostrado na Fig. 15. Toda a fibra de carbono foi retirada de forma a se poder verificar o quadro de fissuração do concreto na região do traspasse do poste reforçado. Não se verificou nenhuma fissura relevante nessa região que mostrasse algum indício de falha do traspasse, mostrando, assim, a eficiência do reforço proposto para corrigir o problema da deficiência de transferência de esforços na região do traspasse.



Figura 15. Ruptura do primeiro ensaio com a emenda por traspasse reforçada, depois de retirada da manta de fibra de carbono da região do confinamento, não mostrando deterioração da região do traspasse.

O diagrama de tensão-deformação dos ensaios reforçados mostram uma ruptura mais dútil, típica de flexão no domínio III, com esmagamento de concreto na região comprimida e escoamento do aço, como mostrado na Fig. 16.

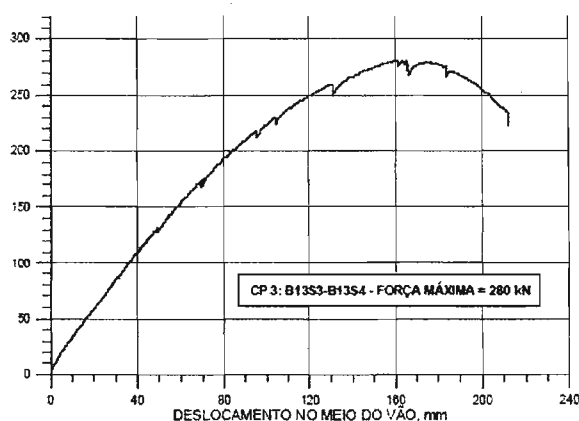


Figura 16. Exemplo de diagrama tensão-deformação de ensaio reforçado, mostrando ruptura mais dútil.

CONCLUSÕES

O colapso dos postes de concreto armado centrifugado e pré-moldado projetados já acontecidos em diversas regiões do país, ocorreu por ruptura e destruição do concreto das paredes das emendas de ligação dos segmentos ou módulos tubulares de concreto devido aos esforços gerados que solicitaram as bielas de compressão do concreto acima de sua capacidade de resistir, devido ao excesso de taxa de armadura.

Essa destruição do concreto que envolve as barras de aço das emendas é justificada por:

- uso de uma porcentagem de armadura, referida ao concreto de envolvimento das barras, acima de qualquer limite tolerável por norma e por bom senso;
- uso de comprimento de traspasse insuficiente para que todas as barras possam ser emendadas na mesma região, em desobediência à normalização;
- uso de número excessivo de barras de grande diâmetro incompatível com o espaço disponível, em oposição às regras de "bem construir" e em contradição com a normalização disponível;
- uso de estribos insuficientes e não helicoidais, ou seja, ausência de confinamento adequado para os esforços transversais, contrário ao que recomenda a normalização e as regras de "bem armar".

Evidentemente além desse problema patológico congênito que infelizmente envolve todos os postes similares no país (da ordem de duas mil unidades), há outros que possuem deficiência de armaduras necessitando de reforço adicional à flexão, que também pode ser realizado com fibra-de-carbono, conforme mostrado na Fig. 17.



Figura 17. Reforço à flexão (complemento da reabilitação do poste em alguns casos).

O custo da reabilitação varia de um terço à metade do valor da substituição do poste por uma torre metálica (prática que estava sendo empregada por grande parte das empresas de telefonia celular do país), sendo assim, a reabilitação dos postes com o procedimento desenvolvido é uma alternativa atrativa para as empresas do setor.

Outros problemas relacionados à durabilidade (tipo fissuras), corrosão de armaduras, corrosão de flanges metálicos, infiltração de água no núcleo, lixiviação, eflorescências, desaprumo e outros que exigem intervenção imediata, inspeção periódica e manutenção permanente para que efetivamente esses postes venham a apresentar a vida útil que deles se espera, com estabilidade e segurança.

Em relação aos ensaios realizados para reforçar o poste na região crítica (emendas por traspasse entre os módulos), pode-se dizer que:

- Todos os ensaios com módulos de postes não reforçados apresentaram ruptura por falha na transferência de esforços na região do traspasse de armaduras, apresentando mecanismo de ruptura muito próximo ao encontrado na prática, em postes que colapsaram.
- Todas as rupturas ocorridas em postes reforçados na região do traspasse com a solução proposta ocorreu por flexão no domínio III, com esmagamento de concreto na região comprimida e escoamento do aço, comprovando a eficiência do reforço proposto para eliminar os problemas de transferência dos esforços no traspasse.