



*Figura 1 - Corrosão dos tirantes da cortina apresentando perda de seção*



*Figura 2 - Parede da cortina com perda de seção das armaduras com indicação de presença de cloretos (cor marrom, após aspersão de nitrato de prata)*

## melhores práticas

análise e recuperação estrutural

# Análise estrutural de cortina atirantada em iminência de colapso devido à corrosão de armaduras

**FÁBIO SÉRGIO DA COSTA PEREIRA - DIRETOR**  
ENGEAL - ENGENHARIA E CÁLCULOS LTDA

## 1. INTRODUÇÃO

A Cortina em questão, situada na Av. Governador Silvio Pedroza, Praia de Areia Preta, Via Costeira, possui um extensão de aproximadamente 240 m e encontra-se em contato direto e permanente com a água do mar e seus respingos, sendo submetida a ciclos de molhagem e seca-

gem constantes, estando inserida no nível de agressividade IV de acordo com a NB-1, ou seja, uma agressividade muito forte com risco de deterioração elevado (agressividade mais severa existente). Após nove anos da realização da última intervenção reparadora em suas estruturas, após vistoria, evidenciou-se um estado de iminência de colapso estrutu-



*Figura 3 - Corrosão com perda de seção das armaduras de viga com indicação da não penetração do gás carbônico na estrutura (cor rosa, após a aspersão da fenolftaleína)*



*Figura 4- Corrosão com perda de seção das armaduras de viga com indicação da presença de cloretos na estrutura (cor marrom, após a aspersão do nitrato de prata)*

ral, devido à grande perda de seção produzida em suas armaduras, partindo-se, então, de imediato, para a realização de uma avaliação completa de suas estruturas, com execução de ensaios e elaboração de projetos de recuperação e reforço de suas estruturas com descrição das metodologias executivas a serem realizadas, visando, primeiramente, a garantia da estabilidade global da estrutura da Cortina e, em segundo lugar, o aumento da vida útil da mesma

## 2. DESCRIÇÃO DA CORTINA

A estrutura da cortina atirantada consiste em uma cortina de 240 m de extensão e 4m de altura, sustentada por pares de tirantes, dis-

postos ortogonalmente, fixados em pilares de sustentação, que recebem amarração de uma viga corrida. A estrutura da avenida é composta de uma viga corrida de maiores dimensões (40 x 70 cm), localizada sob o pavimento, que recebe os engastes, tanto na viga em balanço quanto na laje da faixa de rolamento. No topo da cortina há outra viga, denominada viga de crista, com dimensões de (40 x 50 cm), que possui a função de amarração dos pilares da cortina e sustentação do passeio público, executado em laje maciça. Há, ainda, na extremidade externa das vigas em balanço, outra viga, também corrida, chamada viga de bordo com dimensões de (25 x 40 cm), que serve de apoio à laje do passeio. Ao longo da viga de bordo existem guarda-corpos em concre-



*Figura 5 - Declividade do calçadão representando a movimentação da cortina*



*Figura 6 - Ensaios de cloretos e carbonatação em laje com corrosão, com perda de seção das armaduras, evidenciando a presença de cloretos no concreto e a não penetração do gás carbônico*





Figura 7 - Vigas em balanço com corrosão, com perda de seção das armaduras



Figura 8 - Viga com corrosão, com perda de seção das armaduras

to armado, protegidos por tubos de PVC com diâmetros de 100 e 150 mm. Os tirantes da cortina têm um diâmetro de 32 mm.

### 3. ANÁLISE ESTRUTURAL

Foram realizados ensaios na estrutura da Cortina, visando obter informações sobre o estado de corrosão das armaduras e das estruturas de concreto armado.

#### 3.1 PROBABILIDADE DE CORROSÃO

Foram medidos doze pontos diferentes da estrutura (vigas, pilares e lajes), utilizando o eletrodo de Cobre/Sulfato de Cobre segundo a norma ASTM-C 876. Os valores deram todos acima de  $-350\text{mv}$ , significando uma probabilidade de corrosão de 95% nas armaduras analisadas ( $-476\text{mv}$ ,  $-410\text{mv}$ ,  $-452\text{mv}$ ,  $-365\text{mv}$ ,  $-388\text{mv}$ ,  $-434\text{mv}$ ,  $-412\text{mv}$ ,  $-637\text{mv}$ ,  $-354\text{mv}$ ,  $-533\text{mv}$ ,  $-456\text{mv}$ ,  $-424\text{mv}$ ).

#### 3.2 PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO E PH DO CONCRETO

Foram medidos vários pontos da estrutura pelos indicadores fenolftaleína e lápis medidor de ph observando-se que as estruturas não apresentaram carbonatação com profundidade de 1 a 2 cm, com  $\text{ph}=8$ .

#### 3.3 TEOR DE CLORETOS

Foram extraídas amostras (pó) de seis pontos na estrutura; os ensaios foram feitos por titulação pelo Método de Mohr no laboratório da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), apresentando valores acima do limite de 0,4% da massa do cimento indicado pelas normas (0,42%, 0,43%, 0,47%, 0,434%, 0,43%, 0,44%). Foram feitas ainda medidas com o nitrato

de prata (aspersão), indicando presença de manchas brancas e marrons nas superfícies aspergidas, ou seja, presença de íons cloreto nas superfícies do concreto.

#### 3.4 POROSIDADE

Foram extraídas amostras de concreto em sete pontos, sendo levadas ao laboratório da UFRN para análise, conforme a NBR-9778, apresentando resultados inferiores a 10% indicando, conforme a norma, concreto de boa qualidade e bem compacto (8,77%, 7,33%, 9,64%, 9,32%, 8,44%, 8,33%, 7,23%).

#### 3.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Foram extraídas seis amostras de corpos-de-prova (10x20cm), que foram encaminhadas para o rompimento no laboratório da UFRN, apresentando em todos os resultados valores satisfatórios superiores à resistência de 25 Mpa, prevista em projeto (25,44, 26,84, 26,75, 31,22, 26,31, 27,98).

Na vistoria realizada foram identificadas fissuras da ordem de 0,2 a 0,4 mm de espessura, medidas pelo fissurômetro nas paredes da cortina, evidenciando a movimentação da cortina em virtude da acelerada corrosão das armaduras das vigas em balanço e dos tirantes ativos, com apresentação, em alguns casos, de perda de seção das armaduras e, na maioria das estruturas, a inexistência de armaduras pela ação dos cloretos. Essa movimentação da cortina produziu uma grande declividade em parte da calçada da orla marítima. Na documentação fotográfica estes detalhes serão evidenciados.



Figura 9 - Viga em balanço com corrosão, com perda de seção das armaduras



Figura 10 - Viga com corrosão, com perda de seção das armaduras

#### 4. RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL

Após a análise dos resultados dos ensaios realizados, descritos anteriormente, e exame visual *in loco*, realizou-se o projeto de recuperação e reforço estrutural da Cortina, com a definição das seguintes metodologias executivas:

- Nas paredes, lajes e escadaria, devido ao intenso desgaste das armaduras com corrosão com 50 % de perda de seção, optou-se pela ancoragem de novas armaduras principais e estribos (12.5 mm e 5.0) em toda extensão das peças, com adesivo estrutural com furos de 10 e 5 cm de profundidade, com brocas de 13 mm e 6 mm, respectivamente; e aplicação de uma tela de zinco grampeada ao concreto em toda a extensão das lajes e escadaria, anteriormente ao hidrojateamento. Após o hidrojateamento de areia, será aplicada a pintura anti-corrosiva de zinco nas armaduras antigas, para, em seguida,

projetarem camadas de concreto projetado de 5 cm de espessura e de argamassa polimérica de 1 cm.

- Nas vigas, também devido ao intenso desgaste das armaduras com corrosão com perda de seção quase total, optou-se pela ancoragem de novas armaduras principais e estribos (12.5 mm e 5.0) em toda extensão das peças, com adesivo estrutural com furos de 10 e 5 cm de profundidade, com brocas de 13 mm e 6 mm, respectivamente; e aplicação de uma tela de zinco grampeada nas vigas de concreto, anteriormente ao hidrojateamento. Após o hidrojateamento de areia, será aplicada a pintura anti-corrosiva de zinco nas armaduras antigas.
- Visando o aumento de durabilidade das estruturas de concreto armado, resolveu-se aplicar também um aumento nas seções das vigas, com aplicação de concreto projetado com aditivos, com 5 cm de espessura, e de argamassa



Figura 11 - Vigas em balanço com corrosão, com perda de seção das armaduras



Figura 12 - Detalhe de viga em balanço com corrosão, com perda de seção das armaduras



polimérica com 1 cm. Com aplicação da proteção catódica galvânica (tela de zinco) e a argamassa polimérica, a vida útil da estrutura da cortina terá um significativo ganho de durabilidade.

- A resistência especificada para o concreto projetado foi de 35 MPa.
- Os tirantes sem perda de seção, serão submetidos à limpeza da corrosão, através de hidrojateamento de areia e posterior aplicação de pintura anti-corrosiva de zinco, com proteção através de *grout* expansivo com recobrimento de 5 cm (formas).
- Os tirantes com perda de seção, serão substituídos por novos tirantes com o mesmo diâmetro e mesma profundidade, com execução de nova protensão.
- As fissuras apresentadas na cortina receberão injeção de epóxi a cada 20 cm, em toda sua extensão, com furos de 10 cm de profundidade, com broca de diâmetro de 12.5 mm.

## 5. CONCLUSÃO

O grau de deterioração em que se encontram as estruturas da cortina, retratam a to-

tal falta de manutenção dos órgãos públicos e a falta de consideração dos mesmos pelos cidadãos que podem a qualquer momento serem vítimas de um colapso estrutural, ao passarem em cima do calçadão da cortina. A análise estrutural realizada concluiu que a intervenção de recuperação e reforço estrutural é urgente e inadiável, visando restabelecer as condições da segurança global da cortina e também de proporcionar um aumento de vida útil das estruturas de concreto armado, sem que isso retire a imperiosa necessidade de, ao longo dos anos, se realizarem manutenções periódicas por parte dos órgãos públicos, principalmente pela região altamente agressiva em que a obra está inserida.

Em se tratando de Brasil, onde não se tem a prática de manutenções (nem preventivas, muito menos periódicas) pelos órgãos públicos, espera-se que não se faça mais uma ação paliativa, e sim uma ação mais duradoura, como foi proposto na análise estrutural realizada, para que se tenha pelo menos um período com as estruturas que compõem a cortina em perfeito estado de conservação, após a realização dos serviços de recuperação e reforço estrutural. ■

# Promoção de livros e publicações IBRACON. Corra! Promoção por tempo limitado.



- **“Concreto: microestrutura, propriedades e materiais”**
- **“Materiais de Construção Civil – vols. 1 e 2”**
- **Práticas Recomendadas**
  - “Estruturas de Edifícios de Nível 1 – Estruturas de Pequeno Porte”
  - “Comentários Técnicos NB-1”
  - “Comentários Técnicos e Exemplos de Aplicação NB-1”

Referências da Engenharia Civil em Concreto, no seu aspecto estrutural e de material construtivo, essas publicações não podem faltar nas estantes de estudantes, professores e dos profissionais em geral da construção civil brasileira.

- R\$ 200,00 – para sócios ||| • R\$ 250,00 – para não-sócios
- Mais o valor do frete.

**Corra! A promoção é válida enquanto durar os estoques.**

Acesse hoje mesmo a Loja Virtual do IBRACON no site [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)  
Se preferir, fale conosco:  
Marilene – Tel. 11-3735-0202  
e-mail: [marilene@ibracon.org.br](mailto:marilene@ibracon.org.br)