Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

RECOMENDAÇÃO DE PROCESSO TERAPÊUTICO PARA RECUPERAÇÃO E REFORÇO DAS TELHAS DE CONCRETO PROTENDIDO DO PRÉDIO PRINCIPAL DE INDÚSTRIA DE COMPONENTES SITUADA AO SUL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

D. NICOLETTI
Diretor
Ntec Tecnologia em Infiltração
São Paulo; Brasil
dnicoletti@grupontec.com.br

RESUMO

O presente trabalho pretende recomendar o processo terapêutico utilizado para recuperação e reforço das telhas de concreto protendido do prédio principal do parque industrial de uma indústria de componentes situada no Vale do Paraíba ao sul do Estado do Rio de Janeiro, como um sistema salutar de recuperação, cujo resultado será a eliminação de suas manifestações patológicas com o menor impacto sobre a rotina dos usuários. Por meio de um estudo de caso serão abordados todos os processos desde a identificação das manifestações patológicas, analises por meio de ensaios não destrutivos como carbonatação e potencial de corrosão, até a escolha e aplicação do sistema de reforço com fibra de carbono que além de eficaz, reduz o nível de mobilização da área. A dificuldade de acesso, atrelado aos elevados custos, tornam este projeto um caso de extrema relevância à ser estudado.

Palavra-Chave: Manifestações Patológicas - Telhas de Concreto - Fissuras - Recuperação - Reforço Estrutural.

ABSTRACT

This work intends to recommend the therapeutic process used for recovery of prestressed concrete tiles of the main building of the industrial park of the components industry located in the Paraíba Valley south of the State of Rio de Janeiro, as a salutary recovery system, the result will be the elimination of their pathological manifestations with the least impact on the routine of users. Through a case study will address all items from the identification of pathological manifestations, analysis through nondestructive testing as carbonation and corrosion potential, until choice and application of the reinforcement system with carbon fiber in addition to effective, reduces the level of mobilization of the area. The difficulty of access, linked to high costs, make this a project a case of extreme importance to be studied.

Keywords: Pathological manifestations - Concrete tiles - Cracks - Recovery - Structural Reinforcement.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como base a recuperação e reforço estrutural das telhas de concreto protendido em forma de "W" de uma edificação industrial situada no Vale do Paraíba, região sul do Estado do Rio de Janeiro. As imagens da Figura número 01 mostram a localização e na sequencia é possível observar as características das telhas.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 01 – (a) localização da Fábrica (fonte: Google maps); (b) foto do telhado da fábrica.

A indústria em questão contratou os serviços de uma empresa de engenharia para promover o levantamento das manifestações patológicas, diagnosticar o estado de conservação e recomendar o projeto de recuperação e reforço da cobertura do galpão principal de produção.

A importância deste estudo se dá pela necessidade de complementar a ainda escassa bibliografia referente às manifestações patológicas das telhas de concreto protendido, principalmente no que tange a recuperação e reforço das mesmas, o que, desta forma, se faz peremptório na colaboração com os profissionais da área, descrevendo a bem sucedida técnica de recuperação e reforço aplicada nestas estruturas, cuja dificuldade de manutenção e acesso, atrelado aos elevados custos, tornam este projeto um caso de extrema relevância a ser estudado.

Ainda assim, a recorrente ausência de manutenção em estruturas de concreto armado, cujo valor e importância estratégica são de tal relevância que justificariam uma atenção maior por parte de seus responsáveis, comprova, pois, que a Lei de Sitter age de forma implacável sobre os que prevaricam na prevenção e sob estas condições, pretende-se responder a seguinte pergunta:

Dentre as alternativas de sistemas de impermeabilização, recuperação e reforço estrutural, qual é a mais adequada visando restabelecer a integridade plena da estrutura, promovendo a estanqueidade e proteção nas telhas de concreto protendido em galpões industriais?

As hipóteses levantadas em caráter preliminar para a recuperação da cobertura de concreto, no estado que se encontravam, seriam o reparo estrutural pontual, impermeabilização, além do reforço estrutural nos pontos onde foi observada fadiga na estrutura.

Desta forma, este estudo de caso pretende recomendar o processo terapêutico utilizado para recuperação das telhas de concreto protendido do prédio principal do parque industrial da indústria de componentes situada ao sul do Estado do Rio de Janeiro, objeto deste estudo, como um sistema salutar de recuperação, que consiste em um levantamento detalhado de dados com ensaios não destrutivos e a elaboração e execução projeto de reparo e recuperação estrutural, cujo resultado será a eliminação de suas manifestações patológicas com o menor impacto sobre a rotina dos usuários.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A relevante e preocupante quantidade de manifestações patológicas ligadas a infiltrações de água e falta de manutenção em nossas edificações são incompatíveis com os níveis e estágios avançados de inovações tecnológicas que a construção civil brasileira tem vivido nos últimos anos.

Além das questões comerciais, ou estéticas, Sabatini (1998, p. 43) destaca que “existe um consenso que o sistema de impermeabilização assume um papel importante para durabilidade das edificações”, esse fato é inquestionável, pois sabemos que água/umidade é a causadora ou ao menos desencadeadora de grande parte das tradicionais manifestações patológicas que atingem nossas edificações (BERNHOEFT; MELHADO, 2009).

De acordo com a British Standards 3811, 1984: *"manutenção estrutural é a combinação de todas as ações de caráter técnico e ou administrativo que tenham por fim garantir ou reestabelecer, para uma determinada estrutura as condições necessárias para que desempenhe, capazmente, as funções para as quais foi concebida".*

A demora em iniciar a manutenção de uma estrutura torna os reparos mais trabalhosos e onerosos. A lei de evolução dos custos (Figura 02), conhecida como lei dos 5 ou regra de Sitter, mostra que os custos de intervenção crescem em função do tempo e segundo uma progressão geométrica de razão cinco. Helene (1992) afirma que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas.

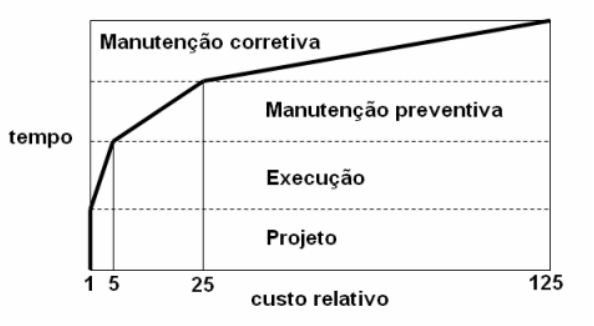

Figura 02 - Evolução dos custos pela fase de intervenção (Regra de Sitter) Fonte: SITTER, 1984 apud HELENE, 1993.

Nestes termos, RIPPER (1998) ressalta que é clara a necessidade de definir estratégias de manutenção de cada obra em função da maior ou menor confiança, por um lado, e dos cuidados, por outro, que, quando da própria concepção, a construção (e a estrutura e suas principais peças, em particular) venha a requerer, em termos de utilização.
CALAVERA (2005) adverte, ainda, sobre a primazia de se contar com um Especialista em Patologia das Construções para este tipo de trabalho que demanda uma formação específica e experiência diferenciada: "*Conviene evitar... errores, hoy frecuentes: El primero es creer que la Patología Estructural la puede ejercer cualquier profesional, sin necesidad de una especialización adecuada."*

2.1 Pacometria

De acordo com MENTONE (1999), a pacometria é um ensaio que permite a identificação das armaduras quanto a sua posição quantidade e diâmetro, bem como o cobrimento de concreto, desde que o campo de medição seja inferior a 120mm, sejam conhecidos o diâmetro das barras e a separação entre as barras seja superior a 100mm. O equipamento comercial para este ensaio é o pacômetro que pode variar de acordo com o fabricante e os diferentes critérios de análise dos resultados. A precisão deste equipamento é limitada e por isso CALAVERA (2005) adverte novamente para a necessidade de um profissional experiente para sua utilização. Na falta deste equipamento pode-se praticar pequenas intervenções na estrutura para a determinação do cobrimento (ZIEGLER e CARMO, 2003).

2.2 Ensaio de Carbonatação

Segundo *Cascudo* (1997) nas superfícies expostas das estruturas de concreto, a alta alcalinidade obtida principalmente às custas da presença de $Ca(OH)_2$ liberado das reações de hidratação do cimento, pode ser reduzida com o tempo. O fenômeno químico da carbonatação resulta de uma alteração química do concreto, em que o dióxido de carbono existente no ar penetra lentamente no concreto com a ajuda da umidade e reage com o hidróxido de cálcio existente no concreto, tendo como principal consequência a perda de alcalinidade do meio composto pelo concreto e pela água que se encontra nos seus poros. Essa perda de alcalinidade é responsável pela destruição de uma camada de passivação de óxido de ferro, que atual como barreira do aço à umidade e ao oxigênio, que uma vez destruída permite o início da corrosão das armaduras. O ensaio pretende verificar a alcalinidade do meio, recorrendo à utilização de uma solução alcoólica de fenolftaleína em furos ou sondagens previamente executados na superfície do concreto, permitindo distinguir e avaliar as zonas que ainda se encontram protegidas (ph de 12-13.5) das que já perderam alcalinidade com ph abaixo de 9.0. Caso a profundidade de carbonatação determinada seja superior ao recobrimento das armaduras, significa que estas estão sujeitas a fenômenos de corrosão, que para além da degradação das armaduras é responsável por fenômenos patológicos nos elementos de concreto armado, tais como abertura de fissuras e fendas e até mesmo desplacamento e colapso das superfícies desses elementos.

2.3. Potencial de corrosão

A corrosão das armaduras no interior do concreto pode ocorrer de forma "silenciosa", principalmente no seu estagio inicial de despassivação do aço sem a geração de produtos expansivos (oxido de ferro e agua) não havendo ainda exposição das mesmas. Este processo corrosivo leva à formação de micro ou macropilhas ao longo da superfície do aço. Nas macropilhas o potencial de eletrodo pode ser determinado ou no ânodo ou no cátodo separadamente (CASCUDO, 1997). Com a evolução do processo corrosivo ocorre o inchamento das armaduras e a ruptura da camada superficial do concreto no fenômeno denominado de “disgregação” do concreto.

O Diagrama de potencial versus pH do sistema ferro-água a 25 °C, que para a ordem de grandeza do pH do concreto (aproximadamente 12,5) e para uma faixa usual de potencial de corrosão, também no concreto, da ordem de +0,1 a -0,4 V em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio, as reações de eletrodo verificadas no ferro são de passivação (CASCUDO 1997). A Figura 03 apresenta o diagrama que é referência para a análise da corrosão.

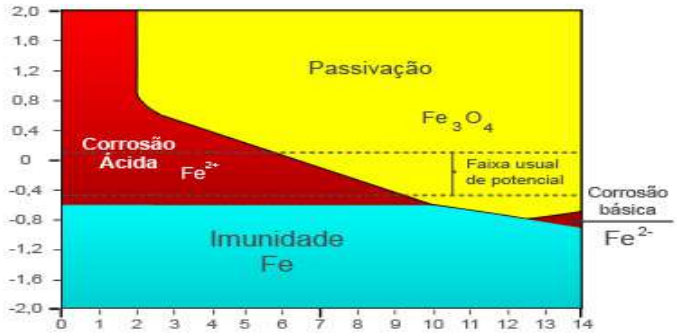

Figura 03 - Diagrama de Pourbaix de equilíbrio termodinâmico, delimitando os domínios de corrosão, passivação e imunidade.

Estes ensaios dever ser executados seguindo instruções e recomendações da norma americana ASTM C876-91 - "Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete" através da técnica de medição por meia célula de cobre com ligado em um multímetro. A Figura 04 representa a metodologia de medição do potencial de corrosão normatizado pela ASTM.

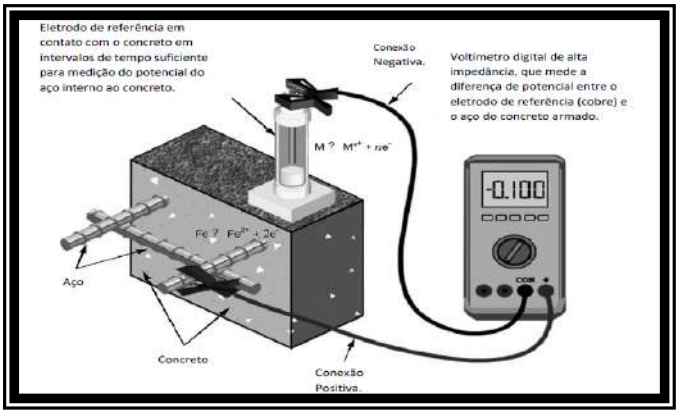

Figura 04 – Esquema geral do ensaio de potencial de corrosão (Fonte: ASTM C876/09).

De acordo com norma americana ASTM C876-09, os resultados dos ensaios são representados e analisados de acordo com a tabela 01:

Tabela 01 – Ensaio de Potencial de Corrosão.

Ensaios de Potencial de Corrosão	
Norma: ASTM C876-09	
Leitura	Interpretação
mais positivo que -200 mV	90% de probabilidade de NÃO HAVER corrosão
entre -200 e -350 mV	Probabilidade de corrosão incerta
mais negativo que -350 mV	90% de probabilidade de HAVER corrosão

Segundo o Apêndice X1.1.4.1, da ASTM C876-09, não é aconselhável a realização de ensaios de potencial de corrosão em estruturas carbonatadas, onde a frente de carbonatação já tenha atingido as armaduras. Portanto, dado o avanço generalizado do ataque químico da camada de cobrimento do concreto, estes resultados não possuem boa confiabilidade, servindo mais como parâmetros informativos a titulo de durabilidade da estrutura.

2.4. Fibra de Carbono

Segundo RIPPER (1998), o Reforço com Fibra de Carbono surgiu mediante os esforços de pesquisa de entidades públicas e privadas do Japão em meados da década passada, no sentido de utilizar os compósitos para reforçar estruturas que estavam sob constante ameaça de sismos. Estes compósitos já eram largamente utilizados na indústria aeronáutica, aeroespacial, naval e automobilística, trazendo ao reforço nas estruturas de concreto a facilidade na aplicação sem os problemas de durabilidade como os que são associados às armaduras.

Ainda segundo RIPPER (1998) para a utilização da fibra de carbono como elemento de reforço estrutural é comum o trabalho com um compósito em formato de folhas de elevada resistência a tração e com módulo de elasticidade semelhante a do aço de construção, para sua aplicação a superfície do concreto precisa ser cuidadosamente trabalhada através de esmerilagem e a colagem deve ser feita com resina epoxílica muito fluida.

3. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão abordados os procedimentos de inspeção e diagnóstico da estrutura que serviram de base para a elaboração do projeto de reforço estrutural.

3.1. Caracteristica da Estrutura

O prédio em questão é um galpão erguido em 1979, pertencente a uma fábrica de componentes mecânicos é e constituída por elementos pré-moldados em concreto e telhas em concreto protendido, com vãos entre pilares modulados entre 12 e 6 metros (eixo a eixo), formando pórticos contínuos com as vigas pré-moldados superiores (do tipo calha), as quais recebem as telhas de concreto, objeto desta inspeção. Esta estrutura de cobertura possui aproximadamente 8.000 m².

Os pilares da estrutura possuem seção transversal quadrada de 45 x 45 cm, vigas calha "u" em concreto armado e vigas calha "i" em concreto protendido e o fechamento superior da cobertura é dado por sistema de telhas trapezoidais em concreto pré-moldado protendido, bi-apoiadas, com espessura padrão de 4,5 cm nas laterais, 5 cm no topo e 8 cm na base, altura de 57cm e largura da faixa trapezoidal 1,25m (coeficiente de desdobramento da área de superfície / área de sombra = 1,40). As extremidades internas do encontro entre telhas W são fechadas por elemento pré-moldado de concreto armado com seção trapezoidal e os apoios nas vigas calhas são fechados por mantas de neoprene de 5 mm.

Como se observa na Figura 05, as telhas são distribuídas lado a lado com fechamento do topo lateral da seção feito por faixas de aproximadamente 30 cm de mantas butílicas aderidas ao topo por meio de resina. Existem 4 módulos de vãos livre nas telhas, sendo estes de 9, 12, 22 e 24 m, apoiadas diretamente sobre as vigas calha, sem trechos em balanço de extremidade.

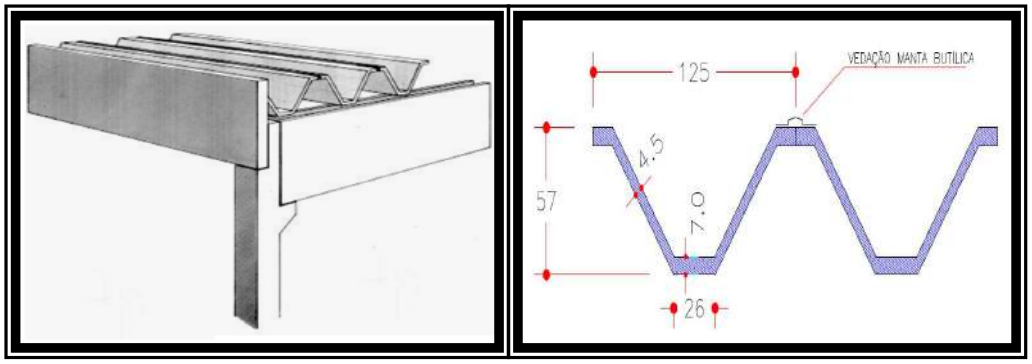

Figura 05 – Detalhe em 3D do sistema estrutural da cobertura, com telhas W, vigas calha e pilares pré-fabricados.

3.2. Processos Metodológicos

Em inspeção visual realizada no telhado do galpão da indústria de montagem de componentes mecânicos no sul do estado do Rio de Janeiro, foram observadas várias fissuras inclinadas próximas aos apoios das telhas, além de outras anomalias, como armações expostas, desplacamento de cobrimento de armação, infiltrações pelas fissuras e elementos de vedação entre as telhas e principalmente fissuras inclinadas próximas aos apoios das telhas.

Desta maneira, foi elaborado um cronograma das atividades com o objetivo de avaliar a estrutura. A Figura 06 mostra o organograma de atividades que regeram os trabalhos.



Figura 06 – Fluxograma das atividades de recuperação.

Após as inspeções preliminares surgiu uma grande preocupação sobre real estado de segurança da cobertura, e caso haja algum reparo a ser feito, como será executado com a fábrica em pleno funcionamento? A Figura 07 mostra as fissuras transversais e as marcas da lixiviação.



Figura 07: (a) Vista face superior das telhas de concreto; (b) Vista das Manifestações Patológicas próximos do apoio das Telhas de Concreto Armado Protendida.

3.3. Dos Ensaios

Após a determinação da elaboração de um estudo meticuloso no telhado para o conhecimento real do estado de segurança do mesmo, iniciaram-se os ensaios não destrutivos, conforme o cronograma estabelecido (figura 07) com o objetivo de coletar os dados que seriam de suma importância para a elaboração do plano de recuperação. Os ensaios indicados foram Pacometria, Carbonatação e Potencial de Corrosão.

3.3.1. Ensaio de Pacometria

Após uma minuciosa análise, a pacometria identificou o posicionamento irregular das armaduras e estribos. Esta falta de uniformidade ocorreu na fabricação das telhas e apesar de não gerarem riscos diretos, poderiam ser a origem de pontos de fadiga precoce na estrutura. Pelas análises, foi possível identificar a relação direta da formação de fissuras em áreas com irregularidades no posicionamento da armadura. Entretanto, é certo que este mau posicionamento não pode ser considerado como a causa principal, mas certamente é uma fator de grande influencia na formação de fissuras e deve ser levado em consideração na execução do cálculo de reforço da estrutura. Também foi possível determinar que em algumas telhas os estribos não foram instalados com espassamento uniforme, como deveria ocorrer.

3.3.2. Ensaios de Frente de carbonatação

Na sequência dos trabalhos, foram realizados vinte ensaios de frente de carbonatação em diferentes pontos da estrutura. No gráfico da Figura 08 mostra a comparação com os cobrimentos dos estribos.

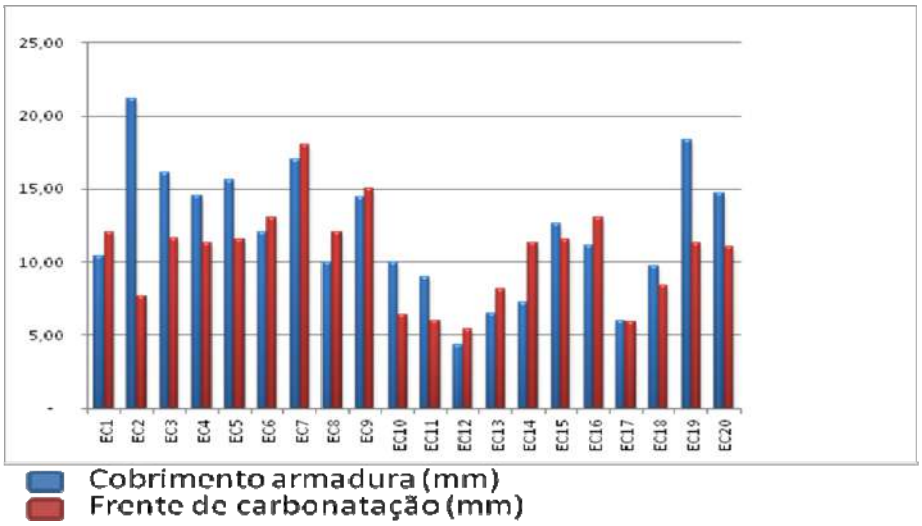

Figura 08 - Relação entre a carbonatação e o cobrimento dos estribos.

3.3.3. Ensaio de Potencial de corrosão

Foram realizados nesta inspeção 8 ensaios de Potencial de Corrosão, seguindo uma malha de 3 linhas por 2 a 3 colunas com distanciamento entre pontos de leitura a cada 30,5 cm (1ft). Estes ensaios foram executados seguindo instruções e recomendações da norma americana ASTM C876-09 - "Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete" através da técnica de medição por meia célula de cobre com o equipamento C-CM-4000 CorMap System, da James Instrument.

Para se determinar a probabilidade de ocorrência de corrosão nas armaduras, em um estágio no qual não seja possível sua percepção pela simples analise visual, ou seja, ainda que não ocorra a "desagregação" do concreto, foram realizados ensaios de potencial de corrozão para estas averiguações. Na Tabela 02 apresentam-se as leituras dos ensaios, de acordo com o nível de probabilidade de corrosão verificado em cada um dos pontos da superfície analisada, sendo mais positivo que -200mV, 90% de probabilidade de não haver corrosão; entre -200 e -350mV, corrosão incerta; e mais negativo que -350mV, 90% de probabilidade de haver corrosão.

Tabela 02 – Resultados do ensaio de potencial de corrosão.

Local	Leituras (mV)	Leituras (mV)	Leituras (mV)	Leituras (mV)	Leituras (mV)	Leituras (mV)	Leituras (mV)	Leituras (mV)	Leituras (mV)
T51J	-30	-55	-198	-4	-40	1	-35	-173	-214
T55J	-292	-232	-370	-297	-237	-303	-271	-254	-274
T30J	-215	-206	-164	-178	-144	-123	-159	-126	-101
T28G	-157	-194	-212	-199	-220	-213	-181	-181	-198
T08D	-63	-122	-79	-72	-133	-70	-63	-91	-41
T14G	-74	-85	-300	-54	-87	-230	-48	-52	-55

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

A análise dos resultados nos permite observar que a estrutura apresenta em sua grande maioria um baixo potencial de corrosão, com exceção de alguns pontos com níveis incertos de corrosão e apenas um ponto com 90% de probabilidade de corrosão, confirmada pela abertura de janela de inspeção em cordoalha de protensão, no local acusado pelo ensaio, segundo a classificação contida no Apêndice X1.1.4.1, da ASTM C876-09.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A varredura das coberturas e telhas do complexo industrial foi feita por amostragem dos trechos com acesso visual possível, não fazendo parte deste trabalho todo o universo de telhas existentes. De qualquer forma, acredita-se que 100% dos tipos de manifestações patológicas existentes tenham sido detectados e elencados neste trabalho. As principais anomalias verificadas nas inspeções referem-se à fissuração inclinada excessiva por efeito de esforços de cisalhamento, preponderante em grande parte das telhas de maiores vãos existindo ainda em telhas isoladas de menores vãos. Esta fissuração além de fragilizar a rigidez e resistências das peças, potencializa a penetração de águas pluviais e gases atmosféricos, que por sua vez podem lavar o concreto provocando o surgimento de eflorescências (manchas brancas) e diminuindo o pH interno da seção, de forma a propiciar a despassivação e corrosão das armaduras. Ao entrar em corrosão, o aço resistente aos esforços cortantes (estribos) diminuem a sua seção transversal e entram em escoamento por excesso de carga nos mesmos.

Esta fissuração pode ter sido provocada por uma serie de fatores isolados ou atuando conjuntamente de forma desfavorável a durabilidade estrutural no que se refere a distorção na variação das espessuras das telhas, sendo o peso próprio das telhas os maiores geradores de esforços nas peças; a variação na taxa de armaduras transversais existentes para uma mesma telha, em uma mesma região; baixa resistência do concreto e aço estruturais, se distanciando desfavoravelmente das hipóteses de calculo adotadas; a fragilização das armaduras transversais, provocadas pela corrosão, por sua vez ocasionadas pela carbonatação do concreto ou uma somatória e combinação de alguns desses fatores anteriormente descritos, atuando de forma conjunta.

Um fato isolado que contribuiu para o surgimento de fissuras inclinadas nas peças, principalmente as fissurações que morrem antes do meio da seção transversal, com baixa inclinação das bielas de compressão do concreto, foi a corrosão inicialmente desencadeada nas armaduras de costela das telhas devido ao baixo cobrimento de concreto, em ambas as direções que com o efeito expansivo do aço deletério ao concreto, que fissurou a seção transversal da telha longitudinalmente, ao todo ou em partes, forçando assim a apenas a seção remanescente inferior do seccionamento a trabalhar como seção resistente ao cisalhamento que por sua vez, com alturas "d" de seção mais reduzida, necessitam de uma maior área de estribos, não existente no dimensionamento original, com altura na alma dimensionada cheia.

Finalmente, verificou-se que a fissuração inclinada existente nas telhas W, principalmente próximos aos apoios, onde são máximos os esforços cortantes para um caso padrão de sobrecarga uniformemente distribuída, são em geral graves e necessitavam de reforço o mais breve possível, visto que algumas das telhas já apresentam configuração de ruptura por cisalhamento, não tendo entrado em ruína de fato devido à boa ductilidade conferida ao elemento, auxiliado pela presença das armaduras de costela. Esta fissuração permanece ativa devido ao processo corrosivo instalado nos estribos.

A elevada variação de espessura das telhas, associado a uma possível baixa resistência do concreto e/ou aço, assim como a variância nas taxas de armaduras transversal próximo aos apoios, provocou um inicio de escoamento do aço dos estribos, verificando-se uma fissuração excessiva em diversas telhas, com aberturas limites perigosas, próximas a características clássicas de ruína por esforço de cisalhamento, conforme demonstra a Figura 09.

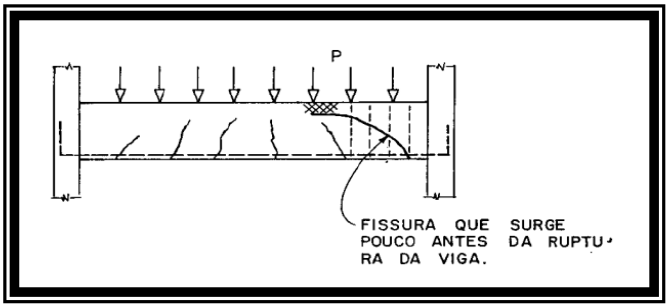

Figura 09 - Fissuração de ruptura de vigas por cisalhamento –
Fonte: http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/exemplo32.pdf.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Pode-se ainda concluir pela analise dos elementos estruturais e dos ensaios realizados que a execução e confecção das telhas não foram corretas, com presença de diversos pontos de segregação do concreto, devidamente "estucados" após a concretagem, com o tamponamento dos furos, assim como elevada variabilidade nas espessuras das paredes das telhas e na armação dos estribos para uma mesma seção estrutural e um mesmo vão de telha. Após essas constatações, diante da gravidade dos fatos apresentados quanto à integridade estrutural de algumas telhas, tornou-se indispensável e urgente a execução de um projeto de reparo e reforço estrutural das telhas rompidas, com expansão do universo amostral a ser definida pelo engenheiro calculista.

4.1. Trabalhos de Reforço

Após as analises dos ensaios as telhas danificadas foram escoradas e tão logo iniciou-se os trabalhos de reforço estrutural, para deixa-las em condições seguras de utilização. Foram considerados para efeito de estudo três métodos diferentes para o reforço estrutural: reforço com concreto armado, reforço com chapas de aço coladas e/ou aparafusada e a ultimo método de reforço considerado é o de manta de fibra de carbono colada com resina epóxi. Mas o grande desafio é fazer o reforço estrutural sem parar as atividades da fábrica, ou seja, executar a obra com a fábrica funcionando e não mudar as características arquitetônicas da edificação. Por estas razões o método escolhido foi o reforço em fibra de carbono aplicado com resina epóxi, pois não ocasionaria sujeira, não geraria entulho, não há água no processo, além de não interromper as atividades fabris.

Como não havia uniformidade nas armaduras transversais das telhas constatado no ensaio de pacometria, desconsideramos as armaduras existentes nas telhas próximas aos apoios e utilizando o Método 01 da NBR 6118/2007 para cálculo dimensionamento das armaduras transversais para combater os esforços cortantes, foi calculada a área de estribo necessária em 1,23 cm² por metro de telha, até 5 metros de seu apoio.

Pelos manuais de fabricantes de fibra de carbono (Machado, 2006) chegou-se a conclusão que seria necessária uma faixa de 17,08 cm de manta de fibra de carbono por metro de telha e adotado um reforço de 5 cm de manta de fibra de carbono a cada 25 cm, resultando em 20 cm de manta por metro de telha. A Figura10 ilustra a disposição do reforço de fibra de carbono.

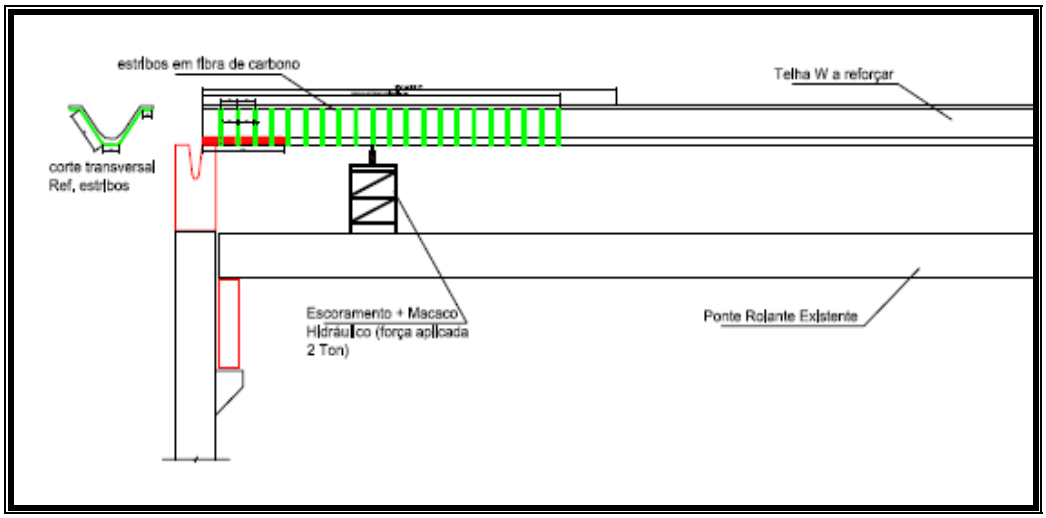

Figura 10 – detalhe do reforço estrutural com manta de fibra de carbono telhas calha em concreto protendido.

Conforme Carrilho et al. (2014), "*Para que o reforço tenha sucesso é primordial escorar e dar um "alívio" de carga e deformações devido ao cisalhamento nas telhas, será executado um escoramento a 2,5 m do apoio a ser reforçado, com emprego de uma carga inferior de 2 toneladas, de forma que o apoio original ainda permaneça parcialmente em carga. Esse alívio deverá ser controlado por uma célula de carga, para que não exceda e nem seja inferior as 2 toneladas consideradas nos cálculos*". A figura 11 mostra o detalhe o içamento das telhas com o auxílio de um macaco hidráulico para que houvesse o alivio nos pontos de tensão para que pudesse ser realizada a plicação correta do reforço.



Figura 11 – Escoramento e alívio na telha detalhe com macaco hidráulico e célula de carga para controle dos esforços.

Após o escoramento e alívio da carga nas telhas, iniciou-se a injeção de resina epóxi de baixa viscosidade nas fissuras inclinas próximas aos apoios e também nas horizontais apresentadas da região onde aconteceu o reforço. A Figura 12 apresenta as fissuras já colmatadas com adesivo epóxi tixotrópico, sendo injetadas com resina epoxi mais fluida.



Figura 12 – Colmatação e injeção de resina epóxi nas fissuras.

Por fim, após a injeção de epóxi, é feita a preparação da superfície, incluído limpeza e lixamento das áreas a serem reforçadas com a fibra de carbono, pois a superfície deve estar totalmente lisa e sem sujeira. A Figura 13 mostra o momento da colagem das fitas de carbono. Este procedimento também é realizado com adesivo epoxílico.



Figura 13 – Camada de saturação de resina epóxi sobre a manta de fibra de carbono.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fadiga das telhas, próximo aos apoios, que deu origem a grande parte das manifestações patológicas e fissuras inclinadas próximas aos apoios foi resolvida com sucesso devido aos trabalhos de reparos e o reforço estrutural com a fibra de carbono executados sem a paralisação da fábrica. Contudo, a cobertura em estudo, apresentava degradação mediana geral, e sem presença de sistema protetor contra a penetração de gases e água, com índices de avanço da frente de carbonatação próximos a atingir os cobrimentos médios existentes, a probabilidade de uma reação de degradação em escala exponencial, devido à despassivação e corrosão a armadura, era alta e iminente.

Para restabelecer a integridade plena da estrutura, promovendo a estanqueidade e proteção nas telhas de concreto protendido, além do projeto e obra de reforço executado nas telhas, seria necessário que as mesmas recebessem proteção adequada.

O sistema proposto para a impermeabilização e proteção das telhas de concreto foi o de membrana de poliuretano com nanotecnologia, (aproximadamente 400 g/m²), pois não gera acréscimo significante do peso na estrutura. Além disso, a membrana inibe a penetração da molécula de carbono, protegendo o concreto contra gases nocivos, fato este de extrema importancia uma vez que a frente de carbonatação já se encontrava em estágio avançado.

Após esses trabalhos realização de todos estes procedimentos com o rigor da técnica necessária para seu bom cumprimento podemos acreditar que a estrutura em estudo estará segura e em plenas condições de utilização por pelo menos mais vinte anos.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **"NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado"** - 2007.

AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - Annual book of ASTM Standards. **Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**. ASTM C 876-91. Philadelphia, 6 p. (1991).

BERNHOEFT, L.F.; MELHADO, S.B. – A importância dos sistemas de impermeabilização na durabilidade das estruturas, La plata, Argentina, 2009.

BRITISH STANDARDS - **BS 3811 - Glossary of maintenance management terms used in terotechnology - 1984.**

CALAVERA, J. – **Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado**, **2ª Edición** – Intemac – 2005.

CARRILHO, MARCELO HENRIQUE MADRUGA e BONALDI, LUIZ – "**RT. 02/12.13 - Laudo Técnico Estrutural Da Cobertura Em Telhas De Concreto"** - Reforço engenharia - 2013.

CARRILHO, MARCELO HENRIQUE MADRUGA e BONALDI, LUIZ – "**MC.010814-REV.0 - Projeto Executivo De Reforço Estrutural"** – Reforço engenharia - 2014.

CASCUDO, O. - **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: PINI - (1997).

HELENE, PAULO R. L. et al. - **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. Pini, 1992.

HELENE, PAULO R. L. - **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

RIPPER, THOMAS - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas,** Pini, 1998.

MACHADO, ARI DE PAULA – **"Fibras de Carbono – Manual Prático de Dimensionamento"** – Edição BASF – 2006.

MACHADO, ARI DE PAULA – "**Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono"** – Edição Viapol – 2006.

MENTONE, FERNANDO J. – **Técnicas e Equipamentos para Avaliação de Anomalias e do Comportamento das Estruturas de Concreto.** Concremat Engenharia e Tecnologia S.A. – 1999.

SABBATINI, FERNANDO HENRIQUE; BARROS, MERCIA MARIA SEMENSATO BOTTURA DE; MEDEIROS, JONAS SILVESTRE - **Anais do 1. Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios:** Vedações Verticais. São Paulo: EPUSP/PCC, 1998. 308p.

SITTER, W.R. **Costs for Service Life Optimization. The "Law of Fives**". In: CEB-RILEM Durability of Concrete Structures.

ZIEGLER, Guilherme L. F.; CARMO, Paulo I. O. **– Inspeção e Manutenção de Estruturas de Concreto Armado: Uso de Ensaios não Destrutivos. –** Santa Maria, UFSM 2003. "Artigo". Porto Alegre. 2006.