



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC  
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ - FAPAC  
ENGENHARIA CIVIL**

**QUINTANILIO FERREIRA DA SILVA**

**RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

**UBÁ**

**2013**

**QUINTANILIO FERREIRA DA SILVA**

**RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Msc. Iracema Mauro Batista

**UBÁ**  
**2013**

# **RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

## **RESUMO**

O propósito deste trabalho é identificar as principais literaturas referentes a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado, enfatizando, principalmente, as técnicas de restauração das características originais da estrutura danificada ou adequação da sua capacidade resistente, em função do uso. A recuperação e reforço de estruturas de concreto armado estão cada vez mais frequentes, devido falta de conservação e manutenção regular das estruturas. A origem dos problemas patológicos nas estruturas de concreto armado, estão diretamente relacionados as fases de projeto, emprego de materiais, processos construtivos, prevenção das falhas e adoção de técnicas incorretas de reparo. A eficiência da recuperação e reforço de uma estrutura, não está relacionada apenas a técnica utilizada ou a qualidade dos materiais utilizados, mas também a compreensão do engenheiro dos principais mecanismos químicos e físicos de degradação das estruturas de concreto armado, como pressuposto básico para o correto diagnóstico das estruturas. As estruturas de concreto armado quando diagnosticadas e reforçadas adequadamente, restabelecem as suas características originais e funcionalidade, apresentando desempenho acima do mínimo exigido para a sua utilização.

Palavras-chave: Concreto armado, patologias, materiais, técnicas, recuperação e reforço.

# **RECOVERY AND STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to identify the main literature related recovery and strengthening of reinforced concrete structures, emphasizing mainly the efficiency of the techniques used to recover the original characteristics of damaged structures and suitability of the strength of structures, depending on the use. The recovery and strengthening of reinforced concrete structures are increasingly common due to lack of regular maintenance structures. The origin of pathological problems in reinforced concrete structures , are directly related to the phases of design , use of materials , construction processes , prevention of failures and adopting incorrect technical repair . The efficiency of the recovery and strengthening of a structure , is not only related to the technique used or the quality of the materials used , but also the understanding of the mechanisms leading engineer of chemical and physical deterioration of reinforced concrete structures , as a basic premise for the correct diagnostic structures . The concrete structures and reinforced when diagnosed properly, reset up their original features and functionality, with performance above the minimum required for their use.

**Keywords:** Reinforced concrete, conditions, materials, techniques, and strengthen recovery.

**QUINTANILIO FERREIRA DA SILVA**

**REFORÇO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FAPAC, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Israel Iasbik

Fundação Presidente Antônio Carlos - FUPAC

Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FAPAC

Érika Maria Carvalho Silva Gravina

Fundação Presidente Antônio Carlos - FUPAC

Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FAPAC

Enoque Pereira da Silva

Fundação Presidente Antônio Carlos - FUPAC

Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FAPAC

## 1 INTRODUÇÃO

A versatilidade do concreto como material de construção é incomparável. Seus constituintes básicos são encontrados em praticamente todas as partes do mundo, além de seu processo de produção ser um método relativamente simples, que possibilita uma grande variabilidade de formas e em geral uma boa durabilidade. Essa versatilidade faz do concreto o material de construção mais utilizado em todo mundo.

A mistura do cimento com a água forma a pasta de cimento. Adicionando o agregado miúdo, como a areia, obtém-se a argamassa de cimento. Juntando o agregado graúdo, como a pedra britada ou seixos rolados, tem-se o concreto simples. A combinação do concreto simples com uma armadura de aço é denominada de concreto armado.

A resistência e durabilidade são algumas das características do concreto armado, por isso ele é considerado um dos mais importantes materiais da engenharia estrutural mas, devido a essas características, muitas pessoas o consideram como um material com durabilidade eterna. Porém, é necessário esclarecer que as estruturas executadas em concreto armado não são eternas, pois com o passar do tempo elas se deterioram e, além disso, há o agravante de erros de projeto, má execução e falta de conservação, que contribuem para a degradação prematura das estruturas.

Segundo Adão e Hermerly (2010), com a popularização do concreto, formou-se principalmente aqui no Brasil, entre proprietários, operários e muitos engenheiros, a ideia de que uma obra de concreto armado teria vida infinita, sem necessidade de tomar os imprescindíveis cuidados que essa vida longa exige. É muito difícil definir uma vida útil para uma obra, principalmente pela falta de detalhes construtivos, qualidade dos materiais utilizados e da mão-de-obra utilizada na execução, mas acredita-se que não passe de trinta anos. No Brasil, as obras construídas vêm apresentando problemas já aos 10 anos e algumas não chegaram a durar 5 anos, já necessitando de recuperação.

Com o crescente número de problemas nas obras de engenharia, mudou-se a percepção das estruturas de concreto armado, identificando-as como não eternas. A concepção de estruturas eternas caiu por terra e os engenheiros sentiram a necessidade de estudar as patologias do concreto para entendê-las e desenvolver técnicas para recuperar e reforçar as estruturas de concreto armado.

A manutenção das estruturas é tão importante, que deveria constar no projeto da edificação a possibilidade de futura manutenção em determinadas estruturas. A recuperação

estrutural existe em grande parte pela falta dessa manutenção programada da estrutura construída.

Souza e Ripper (1998) conceituam a manutenção de uma estrutura como um conjunto de atividades necessárias à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador. Portanto, o concreto durável é aquele que conserva a sua forma e características originais, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente para o qual foi projetado.

Segundo Garden e Hollaway (1996 *apud* GARCEZ; FILHO; MEIER, 2012, p. 353), a opção por reforçar ou reconstruir é baseada em fatores específicos que dependem de cada caso. As intervenções em estruturas de concreto armado podem ser necessárias para restabelecer ou aumentar a capacidade de carga original destas estruturas.

O reforço e recuperação das estruturas de concreto armado, quando utilizadas técnicas específicas comprovadas cientificamente, é um processo eficiente que restabelece a funcionalidade da edificação ou permite o aumento da capacidade de carga da estrutura.

Apesar do concreto armado existir desde o século passado, percebe-se que somente nos últimos trinta anos, começou-se a dar ênfase à necessidade de manutenção e à durabilidade deste material, devido aos problemas prematuros das estruturas de concreto.

O mercado de reforço estrutural se ampliou a partir da década de noventa, exigindo um perfil específico do engenheiro civil para atuar neste ramo. O profissional que pretende atuar nesta área, deve possuir um vasto conhecimento da bibliografia especializada, nacional e internacional, publicadas nessas últimas décadas.

O objetivo desse trabalho é identificar as principais literaturas referentes a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado, enfatizando principalmente as técnicas de restauração das características originais da estrutura danificada ou adequação da sua capacidade resistente, em função do uso.

A importância do conhecimento das origens das patologias do concreto armado são indispensáveis ao profissional de engenharia, não apenas para se proceder aos reparos necessários nas estruturas, mas também para garantir que, após reparada, não volte a se deteriorar. O pouco conhecimento dos profissionais de engenharia na área, principalmente no que se refere à identificação e análise das patologias, bem como a indicação da melhor técnica de recuperação e reforço, resultam em reparos ineficientes, retrabalhos ou demolições desnecessárias.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Metodologia

O artigo foi baseado em revisão bibliográfica de literaturas referentes às patologias do concreto armado, materiais e técnicas utilizados na recuperação e reforço dessas estruturas.

### 2.2 Propriedades e características do concreto armado

#### 2.2.1 Concreto

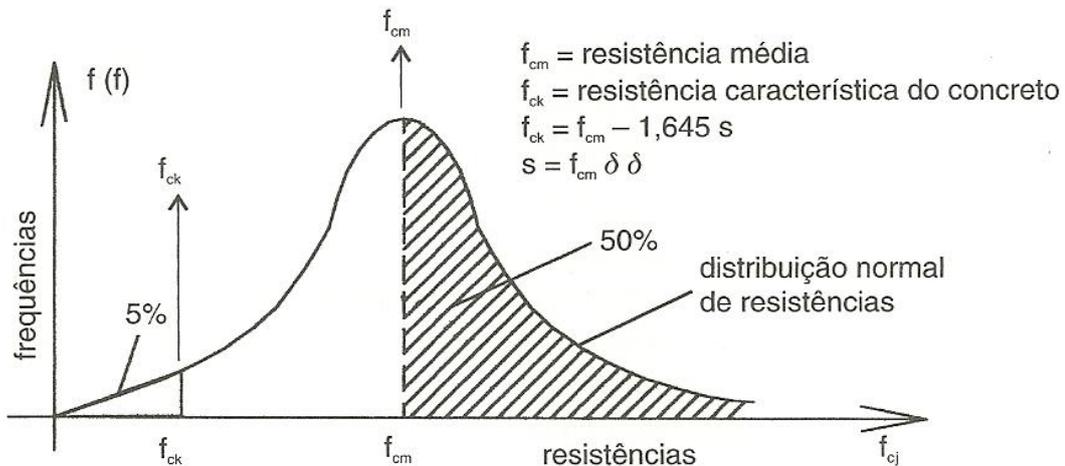
Uma das principais características do concreto é a sua grande resistência à compressão. Essa resistência à compressão do concreto é medida pela tensão. Tensão é a relação de força sobre uma determinada área. A unidade utilizada para medir a compressão do concreto mundialmente, é o Mega Pascal (MPa).

De acordo com a nova regulamentação da NBR 6118, o concreto para estruturas deve possuir resistência mínima de 20 MPa ou 200Kgf/cm<sup>2</sup>; já a resistência à tração, deve ser em torno de 10 % da sua compressão.

As normas nacionais e internacionais, classificam o concreto pelo seu  $f_{ck}$ . Adão e Hermerly (2010), explicam detalhadamente o significado de  $f_{ck}$ . O “f” significa resistência, o “c” compressão e o “k” originou-se da palavra inglesa “karacteristic” (característico). Dessa forma,  $f_{ck}$  significa resistência característica à compressão do concreto e é expressa pelos valores médios obtidos no ensaio de diversos corpos de prova com variadas resistências. Esses valores médios obtidos, quando levados a um gráfico de coordenadas, formam uma curva, conhecida em Estatística como Curva de Gauss.

No método da Curva de Gauss, o  $f_{ck}$  é determinado pelo valor que separa as áreas de 5% e 95% do gráfico (FIG. 1).

FIGURA 1 – Curva de Gauss



Fonte: ADÃO; HERMERLY, 2010, p. 4

### 2.2.2 Aço

“O aço é um material fabricado e tem como principal componente o “ferro”. O ferro compõe o aço com altíssima porcentagem deste mineral (cerca de 98%). Sua composição básica é C (Carbono), Mn (Manganês) e Si (Silício)”. (ADÃO; HERMERLY, 2010, p. 12)

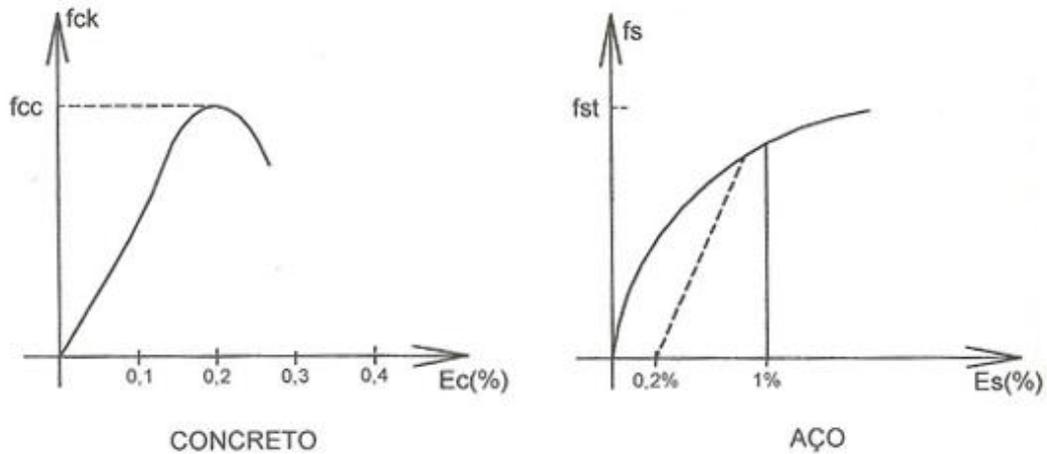
O Carbono é o que mais contribui para as propriedades mecânicas do aço, com sua alta resistência e durabilidade. A NBR 6118 determina a adoção, para cálculos estruturais, das seguintes constantes físicas do aço:

- Massa específica – 7850 Kg/m<sup>3</sup>;
- Módulo de elasticidade – 210 GPa;
- Coeficiente de dilatação térmica – 10<sup>-5</sup> / °C (entre -20 °C e 150 °C);
- Coeficiente de Poisson – 0,2.

O uso do aço no concreto foi de fundamental importância para o desenvolvimento de estruturas mais esbeltas e resistentes. Isso se tornou possível graças à quase perfeita aderência entre concreto e aço.

No Ensaio de tensão e deformação, os diagramas que representam o comportamento do aço e do concreto são semelhantes na fase inicial. Ambos têm, inicialmente, um comportamento linear (FIG. 2).

FIGURA 2 – Diagrama tensão-deformação do concreto e do aço



Fonte: ADÃO; HERMERLY, 2010, p. 12

### 2.3 Patologias básicas do concreto e do aço - mecanismos de degradação

A degradação do concreto ou da armadura da estrutura por processos químicos ou físicos são definidos como patologias. Para analisar, avaliar e tratar especificamente esses processos de degradação do concreto, surge um novo ramo na engenharia Civil que estuda esses mecanismos e as suas origens. Takata e Filho (2011) conceituam a patologia como sendo o ramo da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis. No caso específico das estruturas de concreto armado, ela tem como finalidade analisar as causas de degradação e como recuperá-las com procedimentos e técnicas específicas.

Souza e Ripper (1988) dividem a origem dos problemas patológicos, inerentes ao processo de construção, em três etapas básicas:

- Concepção – erros ocasionados nos estudos preliminares, no ante-projeto e na elaboração do projeto;
- Execução – falhas de diversas naturezas, associadas a causas como a falta de condições locais de trabalho, baixo nível de capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais e componentes, segregação do concreto durante a concretagem, falta de fiscalização, etc;
- Utilização – problemas originados da utilização errônea ou falta de um programa de manutenção adequado da estrutura.

“As medidas terapêuticas de correção dos problemas tanto podem incluir pequenos reparos localizados, quanto uma recuperação generalizada da estrutura ou reforços de fundações, pilares, vigas e lajes.” (TAKATA; FILHO, 2011, p. 60)

### 2.3.1 Lixiviação do concreto

A lixiviação, segundo Souza e Ripper (1988), consiste na dissolução e arraste do Hidróxido de Cálcio existente no concreto endurecido, liberado na hidratação, devido ao ataque de águas puras, com poucas impurezas, pantanosas, subterrâneas ou ácidas, causando a diminuição do Potencial hidrogeniônico (Ph) do concreto e corrosão.

“A lixiviação do Hidróxido de Cálcio do concreto, além da perda de resistência, provoca agressões estéticas, já que o produto lixiviado interage com o CO<sub>2</sub> presente no ar, daí resultando a precipitação de crostas brancas de Carbonato de Cálcio na superfície”. (LAPA, 2008, p.35)

A redução do Potencial hidrogeniônico (Ph) do concreto provoca a decomposição de outros hidratos, aumentando sua porosidade e facilitando o fluxo contínuo da água através do material da estrutura, produzindo formações do tipo estalactites e estalagmites.

### 2.3.2 Corrosão das armaduras

“A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos.” (LAPA, 2008, p. 44)

Magnan (2011) define e diferencia a corrosão por ação química ou eletroquímica das armaduras pela presença ou não da água no processo de deterioração do aço.

Os processos de corrosão química são por vezes denominados corrosão ou oxidação são menos frequentes na natureza e surgiram basicamente com a industrialização. Esses processos corrosivos se caracterizam basicamente pela ausência de água líquida e altas temperaturas, não havendo deslocamento de elétrons, como no caso das pilhas de corrosão eletroquímica. A corrosão química também é denominada corrosão seca ou não-aquosa, por não necessita de água líquida para desencadear o processo.

Os processos de corrosão eletroquímica são os mais frequentes na natureza e se caracterizam basicamente por ocorrerem necessariamente na presença de água líquida, temperaturas baixas e devido à formação de pilhas de corrosão. Em face da necessidade da

água líquida, na maioria dos casos, para formação do eletrólito, a corrosão eletroquímica é também denominada corrosão em meio aquoso.

A corrosão do aço nas estruturas manifesta-se pela expansão, fissuração, lascamento do revestimento e perda de aderência entre aço e concreto. Na armadura a corrosão produz a oxidação do aço e, com isso, redução da seção transversal da armadura.

### 2.3.3 Reações álcali-agregado

“A deterioração decorrente da interação entre certos agregados e a solução alcalina resultante da hidratação de cimentos com alta taxa de álcalis, no concreto, é conhecida como reação álcali-sílica ou álcali-agregado.” (REIS, 2001, p. 25)

Essa reação entre alguns tipos de minerais utilizados como agregado e a solução alcalina produz um gel que absorve água e expande em volume, resultando em fissuração da superfície e desintegração do concreto, perda da resistência, diminuição do módulo de elasticidade e da durabilidade do concreto. De acordo com Souza e Ripper (1988), os sintomas mais aparentes (fissuração desordenada na superfície expostas) não costumam manifestar-se antes de um ano após a concretagem, podendo levar vários anos para surgir.

### 2.3.4 Ataque de sulfatos

“O ataque de sulfatos pode manifestar-se na forma de expansão do concreto e na perda progressiva de resistência e massa, devido à deterioração na coesão dos produtos de hidratação do cimento.” (REIS, 2001, p. 27)

De acordo com Souza e Ripper (1988), o Sulfato de Amônio ( $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$ ), Sulfato Cálcico ( $\text{CaSO}_4$ ), Sulfato Magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ) e o Sulfato de Sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), presentes em águas que contêm resíduos industriais, nas águas subterrâneas em geral e na água do mar, são os mais perigosos para o concreto.

Alguns tipos de solo e água freática podem conter sulfatos de sódio, potássio, magnésio e cálcio, que reagem com os produtos de hidratação do cimento. Esses sulfatos podem também ser provenientes de efluentes industriais e fertilizantes.

“A quantidade e natureza do sulfato presente, o nível da água e sua variação sazonal, o fluxo da água subterrânea e porosidade do solo, a forma da construção e a qualidade do concreto são fatores que influenciam o ataque por sulfatos.” (MEHTA; MONTEIRO, 1994 *apud* REIS, 2001, p. 27).

### 2.3.5 Efeitos físicos decorrentes do fogo e do congelamento

“Quanto aos efeitos da ação do fogo, caracterizam-se basicamente pela alteração da cor e perda da resistência em função direta da temperatura que o incêndio atinge; sabe-se que a degradação do concreto ocorre por volta dos 600° C.” (REIS, 2001, p. 28)

Segundo Marcelli (2007), os danos causados pelo fogo ao concreto, dependem de dois fatores básicos: o tempo de exposição do elemento estrutural e a temperatura que o concreto atingiu. Esses parâmetros são difíceis de serem avaliados com precisão, principalmente pelo fato do concreto apresentar um gradiente acentuado de queda de temperatura no seu interior.

O resfriamento brusco do concreto, provocado pela água de combate ao fogo, provoca um choque térmico no elemento estrutural e é responsável pelos danos ao concreto. A água reidrata o Hidróxido de Cálcio (Ca[OH]), inchando o concreto e produzindo fissuras a ponto de destacar o concreto que está cobrindo a armadura.

“Quanto aos efeitos da ação do congelamento, o mais comum é a fissuração e o destacamento do concreto, causado pela expansão da pasta de cimento, por repetidos ciclos gelo-de-gelo.” (REIS, 2001, p. 28)

### 2.3.6 Deterioração por desgaste superficial

Galletto (2005) define o desgaste superficial do concreto como a deterioração do concreto através da perda progressiva de massa, a partir da superfície do concreto, que pode se dar por três situações distintas:

- abrasão: refere-se ao atrito seco com a superfície do concreto. Um exemplo é o tráfego de veículos em pisos industriais;
- erosão: refere-se ao desgaste pela ação abrasiva de fluidos contendo partículas sólidas em suspensão. Pode ocorrer em estruturas hidráulicas, como em revestimentos de canais, vertedouros e tubulações para o transporte de água e esgoto;
- cavitação: refere-se à perda de massa pela formação de bolhas de vapor e sua subsequente ruptura em virtude das mudanças repentinas de direção em águas que fluem com alta velocidade.

Segundo Reis (2001), a deterioração da superfície do concreto, decorrente dos fenômenos físicos da erosão, abrasão e da cavitação, podem diminuir a vida útil do concreto. Os fenômenos são acelerados, principalmente quando o concreto tem elevada porosidade.

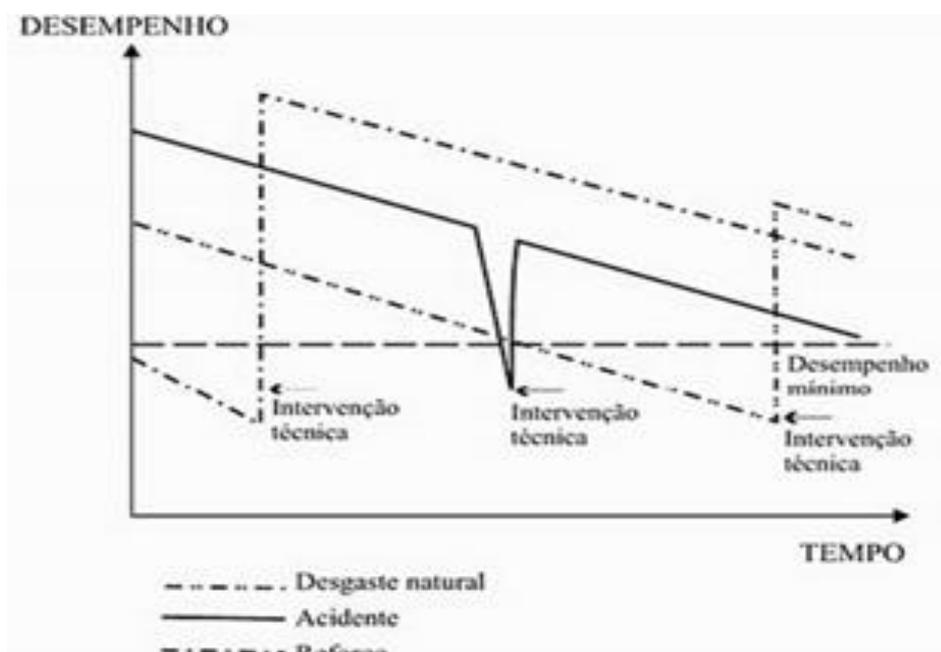
## 2.4 Aspectos decisivos para recuperar ou reforçar

De acordo com Souza e Ripper (1998), por vida útil de um material, entende-se como o período durante o qual as suas propriedades permanecem dentro dos limites mínimos de segurança exigidos por norma. “Durante este período, pode-se intervir de forma a recuperar ou reforçar. Uma vez recuperada, deve-se estabelecer os requisitos mecânicos e ambientais, informando-se o tempo de referência para o cálculo da vida útil projetada.” (REIS, 2005, p. 49)

Na FIG. 03, Souza e Ripper (1998) representam no gráfico, genericamente, três históricos diferentes de desempenhos estruturais ao longo das respectivas vidas úteis, em função da ocorrência de fenômenos patológicos diversos.

No primeiro caso, representado pela curva traço-duplo ponto, trata-se do fenômeno natural de desgaste da estrutura; constata-se que quando há a intervenção, a estrutura se recupera, voltando a seguir a linha de desempenho acima do mínimo exigido para sua utilização; no segundo caso, representado por uma linha cheia, trata-se de uma estrutura comprometida por um acidente que necessita de imediata intervenção corretiva para que volte a comportar-se satisfatoriamente; e no terceiro caso, representado pela linha traço-mono ponto, tem-se uma estrutura com erros de projeto, de execução ou que tenha que alterar sua funcionalidade, necessitando de reforço.

FIGURA 03 – Desempenho de uma estrutura, em relação ao tempo e fenômenos patológicos



O conhecimento da vida útil e da curva de deterioração das estruturas, são fatores de fundamental importância para elaboração de programas de manutenções, reforços e recuperações adequados, específicos e eficientes, que proporcionarão uma maior vida útil a edificação.

#### 2.4.1 Avaliação do concreto

Dependendo da magnitude da patologia ou do sinistro, torna-se necessário avaliar a capacidade residual da estrutura, em função da grande gama de danos que pode ocorrer com o concreto.

Marcelli (2007) divide os ensaios utilizados para avaliar a capacidade residual do concreto da estrutura em não-destrutíveis e destrutíveis.

a) Ensaios não-destrutíveis - São os procedimentos com a finalidade de avaliar as características básicas do concreto sem causar nenhum dano à estrutura. Os procedimentos utilizados são:

- Ensaio Esclerométrico: Através do impacto provocado contra a superfície da estrutura através de um aparelho chamado de esclerômetro, mede-se a resistência superficial do concreto.

O esclerômetro é pressionado lentamente e de forma perpendicular contra a superfície do concreto, até que produza um impacto. A reflexão é registrada pelo recuo do cursor e medida através de uma escala graduada.

- Ensaio com ultra-som: O método é muito utilizado quando se deseja conhecer a homogeneidade do concreto, buscando-se detectar falhas na concretagem, vazios, profundidade de trincas, etc.

O ensaio consiste na emissão numa das faces da peça de concreto de ondas ultrassônicas de pequeno comprimento e frequência superior a 20 Hz e recepção em outro ponto da peça, medindo-se assim a velocidade de propagação da onda no meio analisado. A existência de vazios ou redução da compacidade do concreto, implica na sensível diminuição na velocidade de propagação das ondas.

- Ensaio por Gamografia: É um método muito útil quando se pretende obter informações específicas do interior da estrutura analisada, referentes a:

- 1) trincas internas e juntas de concretagem mal executadas;
- 2) diâmetro, posição e corrosão das armaduras;
- 3) corrosão e ruptura de cabos de protensão;

- 4) falhas na injeção das luvas de protensão;
- 5) má aderência do concreto à armadura e reconstituição da armadura da peça;
- 6) verificação da penetração das resinas em vigas e luvas de protensão;
- 7) local ideal para se extrair corpo-de-prova.

Uma face da estrutura é submetida a uma radiação, emitida por um aparelho semelhante ao usado em raios X, que é registrada na face oposta num filme. No concreto se utiliza o raio Gama, usando como fontes radioativas o Irídio, o Cobalto e o Betraton, dependendo da espessura de cada peça analisada.

- Prova de Carga: É um ensaio utilizado para avaliar uma estrutura, no que diz respeito à sua capacidade de suportar, com segurança ou não, uma determinada carga.

O ensaio é realizado aplicando-se carregamento em etapas crescentes à estrutura ou à peça ensaiada, até se atingir um valor final, normalmente 30% acima do previsto para uso.

A utilização de aparelhos no ensaio, para aferição e controle da carga máxima suportada pelas estruturas, é fator primordial para a precisão dos resultados e segurança contra possível colapso da peça ensaiada por carregamento preliminar. Necessariamente deve ser utilizado para realização do ensaio e controle da aplicação da carga, o extensômetro para medir as deformações verticais da estrutura; o clinômetro, para medir a rotação da peça em determinados pontos; e o tensômetro, para medir o encurtamento ou alongamento das fibras da peça.

b) Ensaio destrutíveis – São aqueles nos quais temos de retirar uma parte (testemunho) da peça para fazer ensaios de laboratório. Os procedimentos mais utilizados são:

- Ensaio de Compressão em Corpo-de-Prova: o método consiste na extração de uma amostra (testemunho) da estrutura que se quer avaliar, através da perfuração com brocas rotativas diamantadas.

A amostra do concreto em forma de cilindros extraída, é levada ao laboratório e colocada em prensas para análise e carregadas até a ruptura, obtendo-se um valor da resistência da peça naquele local.

- Análise Termodiferencial e Termogravimétrica do Concreto: são procedimentos de laboratório em que se utiliza um forno para submeter uma pequena amostra de concreto a picos de temperatura até 1500° C. Esses picos de temperatura podem ser de 130° C, 285° C, 460° C, 485° C, 680° C e 750° C.

No ensaio da amostra é possível verificar, por comparação, as temperaturas que ela atingiu através da ausência de um dos picos de temperatura. Dessa forma, por comparação,

podemos avaliar com relativa precisão quais as temperaturas que o interior de uma estrutura de concreto atingiu durante um incêndio, catalogando-se as profundidades em que cada amostra foi extraída.

- **Análise Microscópica do Concreto:** trata-se de método interpretativo que baseia suas inferências na morfologia dos materiais analisados, sendo muito eficiente nos estudos da microestrutura do concreto.

As amostras de concretos severamente afetados pelo fogo, apresentam diferenças significativas nas microestruturas e na mineralogia. As estruturas expostas às altas temperaturas, apresentam microestrutura com aspecto não-coeso, friável, muito poroso e raramente produtos hidratados de cimento.

Nas amostras atingidas, mas não modificadas pelo fogo, a microestrutura apresenta aspecto coeso, maciço e com elevados teores de etringita (Sulfoaluminato de Cálcio, resultante da reação do cimento com a água na preparação do concreto), ou seja, com aparência compatível com concreto de boa qualidade.

#### 2.4.2 Avaliação da armadura

Para se analisar a patologia ou sinistro, torna-se necessário avaliar, não só o concreto, mas também a capacidade residual da armadura dessa estrutura.

Reis (2005) e Vagheti (1999), indicam a avaliação da armadura através dos métodos de avaliação visual e meio magnético, nas situações em que a corrosão ainda não é visível na superfície do concreto. Análise metalográfica é indicada nas situações em que a armadura está aparente e a corrosão já se encontra em estado avançado.

Os três métodos utilizados para avaliar a armadura são:

- **Inspeção visual:** Os exames visuais dão a primeira indicação do problema, identificando a presença de manchas e a cor dos produtos da corrosão. Procura-se identificar visualmente a corrosão sofrida em termos morfológicos, bem como a sua extensão e profundidade. Posteriormente, através de fotografias digital, registram-se as principais características macroscópicas e analisa-se as fotografias com lupa estereoscópica.

- **Método Eletromagnético:** Um aparelho chamado pacômetro emite um fluxo magnético através da armadura do concreto. O fluxo magnético varia em função da espessura de cobertura do concreto, sendo possível se verificar o posicionamento exato da armadura dentro da peça de concreto, a presença de ganchos, o final da barra de aço e o afastamento dos estribos.

O método é muito útil para se reconstituírem projetos e escolher pontos de extração de corpo-de-prova, sem cortar ferragem interna.

- **Análise metalográfica:** É a determinação de propriedades mecânicas através da extração de barras de testemunho, que permitem a avaliação das possíveis causas da ruptura do aço, através de observação e da análise do aspecto microestrutural do aço.

O método consiste em cortar com maçarico as extremidades da barra de aço. Desprezam-se cerca de 5 cm de cada extremidade da amostra, evitando-se influências nos resultados, devidas à exposição da barra a temperaturas elevadas no momento do corte com maçarico. Depois de preparada, a amostra é submetida a gravimetria para verificar a perda de massa após a corrosão.

## **2.5 Materiais utilizados na recuperação de estruturas de concreto armado**

### 2.5.1 Materiais

De acordo com Silva (2006), muitos dos problemas que ocorrem nas estruturas poderiam ser evitados, caso houvessem cuidados maiores na escolha dos materiais, podendo assim evitar ou retardar a necessidade de manutenção e reforço prematuro das estruturas. Algumas características ou propriedades dos materiais devem ser observadas, para o seu correto emprego.

A correta escolha dos materiais e da técnica a ser utilizada numa recuperação e reforço estrutural é que vão garantir o sucesso ou não do trabalho.

### 2.5.2 Argamassas e concretos convencionais

As argamassas e concretos podem ser preparados no local, antes de sua aplicação ou adquiridos na forma industrializada disponível no mercado. São ideais para reparos em pequenas áreas e não necessitam forma, mas requerem mão-de-obra especializada para a sua aplicação.

Dentre os materiais utilizados como reparo de estruturas, de acordo com Souza e Ripper (1998), destacam-se os concretos e argamassas, considerando-se que se bem projetados e executados são, em termos de qualidade e economia, uma boa opção.

### 2.5.3 Argamassas

“As argamassas são definidas como a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.” (FIORITO, 2009, p. 29)

As argamassas utilizadas em obras normalmente são compostas de areia natural lavada, aglomerantes e a cal hidratada. Assim, temos argamassa de cal, de cimento ou mista de cal e cimento. As argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces, chapisco, revestimentos e pisos; já as argamassas de cal são utilizadas para emboço, reboco e assentamento de alvenarias de vedação.

Fiorito (2009), diferencia as argamassas pela sua resistência e facilidade de preparação e aplicação. As argamassas de cimento são mais resistentes, porém possuem baixa trabalhabilidade. Diferentemente, as argamassas de cal têm maior plasticidade, elasticidade e condições favoráveis de endurecimento, proporcionando melhor acabamento.

### 2.5.4 Concretos convencionais

“O concreto convencional ainda é o material mais utilizado em serviços de recuperação e reforço de estruturas de concreto.” (SOUZA; RIPPER, 1988, p. 96)

Tradicionalmente é usado o concreto de cimento Portland em reparos e reforços. Na maioria das vezes, o concreto requer um traço especialmente formulado para cada caso, de forma que propicie uma melhor aderência do concreto novo com o velho.

De acordo com Garcia (1998 *apud* GALLETO, 2005, p. 31), o concreto quando utilizado para reparo deverá apresentar no mínimo resistência, granulometria e diâmetro do agregado igual ao do concreto da estrutura.

Segundo Souza e Ripper (1988) e Lapa (2008), uma das desvantagens dos concretos convencionais é a sua retração plástica. A fissuração ou dessecação superficial é causada pela perda de água do concreto, ainda não endurecido, pela exposição da sua superfície às intempéries como vento, baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas.

### 2.5.5 Concreto com polímeros

“Encontram-se neste grupo, as argamassas ou concretos modificados com epóxi ou com látex.” (REIS, 2001, p. 58)

De acordo com Souza e Ripper (1998), os látex de polímeros aumentam a fluidez da mistura, permitindo redução do fator água/cimento, além de retardar o início da pega e de serem incorporadores de ar no concreto fresco.

Segundo a definição de Mehta e Monteiro (1994 *apud* REIS, 2001, p. 58) os concretos com polímeros dividem-se em três categorias:

- Concreto de Polímero (CP) - É formado polimerizando-se uma mistura de monômero e agregado, sem água. Desenvolve resistência à compressão da ordem de 140 MPa em algumas horas, sendo indicado para trabalhos de emergências.
- Concreto Modificado com Látex (CML) - É o concreto convencional obtido com substituição parcial da água de amassamento por látex (emulsão de polímero). Possui excelente capacidade de adesão ao concreto antigo e grande durabilidade às soluções agressivas.
- Concreto Impregnado com Polímero (CIP) - Produzido através da impregnação ou infiltração do concreto endurecido com monômero e posterior polimerização do monômero “in loco”. Proporciona a efetiva vedação de microfissuras e de poros capilares, tornando entretanto o material mais frágil.

#### 2.5.6 Concreto com sílica ativa

“A sílica ativa é um pó fino cuja cor varia de cinza claro a cinza escuro.” (NETTO, 2006, p. 106)

A sílica ativa atua no concreto alterando suas características, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido e sua ação está diretamente ligada às suas características pozolânicas. De acordo com Thomaz (2001), o emprego de sílica ativa (microssílica) finamente pulverizada (superfície específica da ordem de 25.000 m<sup>2</sup>/kg), atua benéficamente, preenchendo os vazios entre os grânulos de cimento, resultando compostos estáveis e de elevada resistência mecânica. A sílica ativa diminui os vazios da pasta, minora a retração e propicia a presença de compostos mais resistentes no contato com os agregados, produzindo concretos de elevadíssima resistência mecânica e elevado desempenho à ação agressiva de meios sulfatados, íons cloreto, etc.

“As adições de sílica ativa são feitas em quantidades que variam de 4% a 15% do peso do cimento, conforme a aplicação e o desempenho que se deseja do material concreto.” (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 99)

### 2.5.7 Concreto com fibras

“São concretos resultantes da mistura do concreto comum com fibras esparsas na massa do concreto. As fibras mais utilizadas são as fibras de aço, de vidro, e de polímeros orgânicos, além desses as vegetais, como a juta e o sisal também são usadas.” (REIS, 2001, p. 60)

As fibras, ao contrário das armaduras, são descontínuas e dispersas no concreto, formando uma armadura difusa. As fibras não têm como objetivo substituir as armaduras de aço, mas sim complementá-las e melhorar algumas das propriedades do concreto, principalmente a resistência e o alongamento de ruptura à tração.

As fibras de aço são elementos descontínuos produzidos com uma variada gama de formatos, dimensões e mesmo de tipos de aço.

“As fibras de aço agem aleatoriamente dentro do concreto, absorvendo as tensões de tração, já que essas aderem ao concreto”. (ADÃO; HERMERLY, 2010, p. 36)

As fibras de nylon são fibras finíssimas, com tamanho entre de dois ou três centímetros, que misturadas ao concreto, diminuem as tensões de tração de esforço, além de reduzir as fissuras de retração. Segundo Adão e Hermerly (2010), as fibras de nylon melhoram o desempenho do concreto, quanto à durabilidade, resistência mecânica e variação de temperatura.

As fibras de carbono são as mais rígidas e resistentes dentre as fibras. Inicialmente foram utilizadas no reforço de pilares submetidos à ação sísmica, mas já são largamente utilizadas no reforço de lajes e de vigas, estruturas de pontes, etc. “A durabilidade, leveza e alto módulo de elasticidade (podendo chegar a 800 GPa) são as características responsáveis pela sua boa aceitação.” (ARAÚJO, 2002, p. 4).

Segundo Hollaway (1993 *apud* VIEIRA, 2009, p. 71), diferentemente do aço, as fibras de carbono não são afetadas pela corrosão eletroquímica e são resistentes à ação dos corrosivos de ácidos, álcalis, sais e outros agentes agressivos.

As fibras de vidro são pouco utilizadas, de acordo com Souza e Ripper (1998), tendo em vista que são degradadas pelo meio alcalino da pasta de cimento, perdendo com o tempo a sua resistência.

### 2.5.8 Concreto com cinza volante, escória de alto-forno granulada e cinza de casca de arroz

“A cinza volante ou cinza de carvão pulverizado, é um subproduto das usinas termoelétricas, sendo dividida em duas categorias: baixo e alto teor de cálcio. A escória de alto-forno granulada é um subproduto da produção do ferro-gusa.” (REIS, 2001, p. 61)

De acordo com Thomaz (2001), a adição de escória de alto-forno ou cinzas volantes diminui a difusibilidade dos cloretos, evitando a corrosão da armadura da estrutura.

“As cinzas de cascas de arroz (CCA) é um subproduto da queima da casca de arroz a céu aberto ou pela combustão não controlada em engenhos para a secagem de grãos, como também em fornos de olarias para fabricação de tijolos.” (VAGHETTI, 1999, p. 26)

As cinzas de casca de arroz, pelas suas características como pozolana, segundo Vaghetti (1999), proporcionam ao concreto altas resistências nas primeiras idades como a longo prazo, melhorando a sua propriedade relativa à durabilidade.

### 2.5.9 Adesivos e “primers”

“São utilizados para colar materiais a elementos estruturais já existentes atuando como ponte de aderência. Os “primers” além de atuarem como ponte de aderência, atuam como protetores do substrato.” (REIS, 2001, p. 63)

De acordo com Galletto (2005), os adesivos podem ser utilizados para aderir o concreto velho ao novo, além de ser uma eficiente barreira de proteção contra ataques de agentes agressivos. Os adesivos podem ser à base de epóxi, Acetato de Polivinila (PVA) e acrílico.

### 2.5.10 Materiais para injeção

Conforme Souza e Ripper (1998) e Reis (2001), os materiais para injeção são materiais que permitem restabelecer o monolitismo de elementos de concretos fissurados. Os materiais para injeção disponíveis no mercado ou elaboradas, são:

- Resinas sintéticas: são as resinas acrílicas de poliésteres e as epoxídicas, sendo estas últimas as mais utilizadas. Têm alto poder adesivo, permitindo restabelecer a monoliticidade de elementos de concretos fissurados.
- Pasta de cimento injetável: é um material elaborado pela mistura de cimento e água, com fator água/cimento baixo, aditivos plastificantes e expansores que aumentam a

fluidez e diminua a segregação de água, provocando a expansão da massa, neutralizando a retração.

#### 2.5.11 Graute

É uma argamassa ou um microconcreto fluido, utilizado para o preenchimento de vazios. Tem como principal característica a fácil aplicação, a elevada resistência mecânica e a ausência de retração. Existem disponíveis no mercado, dois tipos de graute.

- graute de base mineral: composto constituído por cimento, agregados miúdos, quartzos, aditivo super plastificante e aditivo expensor, que possui elevada fluidez, tornando possível a sua aplicação em estruturas de difícil acesso.
- graute de base epóxi: composto epóxi-poliâmida, fornecido em dois componentes. Quando misturados, resultam em produto de grande fluidez, baixa viscosidade, com excelentes resistências: química, mecânica e abrasiva.

#### 2.5.12 Mastiques e selantes

São produtos à base de polímeros de elevado desempenho ou de outros materiais de construção modificados com estes polímeros, aditivos e fillers. Tem a característica de se deformar sob tensão, variando suas dimensões, mas mantendo o seu volume constante. São utilizados para o preenchimento de juntas, junções e aberturas, para o selamento, calafetação, proteção, impermeabilização ou colagem de duas faces ou de elementos justapostos.

#### 2.5.13 Aditivos

São produtos que acrescentados aos aglomerantes, têm por finalidade modificar ou realçar certas propriedades do concreto, para seu melhor comportamento em algum ou em todos aspectos, tanto no estado fresco como endurecido. Atuam na melhoria da trabalhabilidade, durabilidade à fissuração térmica e ataques químicos, favorecendo a produção de concretos de alta resistência.

#### 2.5.14 Pinturas de Proteção

São revestimentos, vernizes e pinturas, que têm o objetivo de proteger o concreto quanto à penetração de agentes agressivos e, em alguns casos, funcionam como barreira protetora ao ataque destes agentes. Possui como mecanismo básico a formação de uma película semi-flexível e contínua de baixa permeabilidade, que atua como barreira à penetração de líquidos, vapores e gases na estrutura.

### 2.6 Reforço de estruturas de concreto

Detectada a necessidade de ampliação da capacidade portante de um elemento estrutural, o passo seguinte é a definição da técnica de reforço que mais se adapta e menos altera às condições arquitetônicas da edificação.

Várias são as técnicas disponíveis no mercado, sendo que, basicamente, o reforço pode se feito com ou sem alteração da seção transversal do elemento estrutural. Adição de chapas ou perfis de aço, folhas ou barras de fibra de carbono e acréscimo de armadura de tração, são soluções que não alteram em demasia a seção transversal do elemento.

#### 2.6.1 Reforço com concreto

O reforço de peças estruturais com concreto armado é uma técnica muito utilizada, tendo em vista o seu baixo custo e a facilidade de execução. Apresenta como desvantagem de alterar a arquitetura da peça e o tempo necessário para que a estrutura possa ser colocada em serviço.

A utilização de concreto de alto desempenho no reforço é uma alternativa, pois resulta na adoção de espessuras menores, não modificando significativamente às dimensões originais dos elementos reforçados. A eficiência do reparo depende da boa aderência entre o concreto novo e o velho e da capacidade de transferência de tensões entre os mesmos (FIG. 04).

FIGURA 04: Execução de reforço com acréscimo de seção ao pilar



Fonte: TUTIKIAN *et al.*, 2012, p. 55

#### 2.6.2 Reforço com perfis metálicos

O método do reforço com o uso de perfis metálicos configura-se como um dos métodos mais utilizados em situações de emergência. Essa técnica, em geral, não altera a geometria da peça reforçada. Os perfis são fixados à peça com buchas expansivas, resinas injetáveis ou soldados. A preparação da superfície é importante, devendo ser dada especial atenção à perfeita união do reforço com o elemento estrutural. No caso da presença de fissuras, deve-se providenciar o reparo, antes da execução do reforço (FIG. 05).

FIGURA 05: Pilar reforçado com perfis metálicos soldados

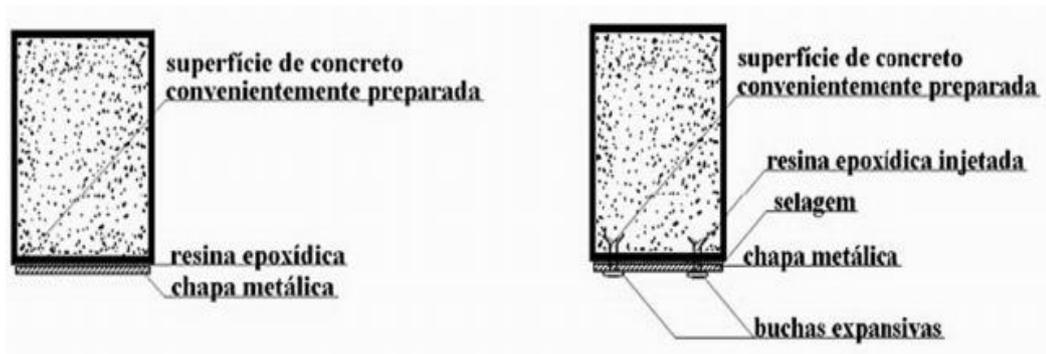


Fonte: TUTIKIAN *et al.*, 2012, p. 55

### 2.6.3 Reforço com chapa de aço colada

Neste método utiliza-se de finas chapas de aço coladas com resina epóxi ao concreto. As chapas devem ser fixadas de maneira a promover uma perfeita união com o concreto, pela resina ou pelos chumbadores, fazendo com que comece a atuar as tensões previstas e que as tensões continuem atuando ao longo do tempo, mesmo que a peça reforçada entre em Estado Limite Último. Essa técnica é muito utilizada quando se necessita de urgência ou quando não são permitidas grandes alterações na geometria da estrutura, pois é uma opção muito eficiente por adicionar capacidade resistente à peça, além de ser de fácil execução e baixo custo, comparado a outras técnicas de reforço (FIG. 06).

FIGURA 06: Reforço com chapa metálica colada (esquerda) e chumbada (direita)



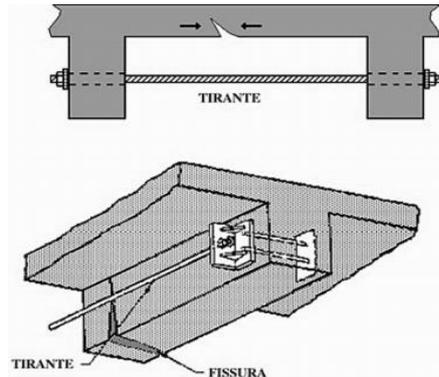
Fonte: SOUZA; RIPPER, 1988, p. 148

### 2.6.4 Reforço com protensão exterior

O método de reforço com protensão externa é um sistema utilizado em obras de pontes e viadutos. Tem características semelhantes ao concreto protendido, pelo mecanismo de ação. O esforço de tração, dado pela protensão do cabo, provoca compressão da viga, acréscimo de carga no pilar e introduz carga vertical de baixo para cima, que reduz as deformações e deslocamentos da peça (FIG. 07).

A desvantagem desse método é o alto custo de intervenção, alteração da arquitetura e restrições na utilização da edificação. Segundo Souza e Ripper (1998), a protensão externa apresenta vantagens como a redução da complexidade dos trabalhos de execução, a facilidade de substituição de cabos velhos ou danificados e a possibilidade de controle quanto à perda da protensão nos casos de atrito dos cabos.

FIGURA 07: Aplicação de protensão exterior em fissura de viga



Fonte: SOUZA; RIPPER, 1988, p. 157

#### 2.6.5 Reforço com laminados de Polímero Reforçado com Fibras de Carbono (PRFC)

Segundo Vieira, (2009), os PRFC possuem uma alta taxa resistência-peso, estes materiais podem fornecer altas forças de protensão, sem aumentar o peso próprio da estrutura. O reforço com PRFC é dividido em dois tipos:

- Polímero Reforçado com Fibras de Carbono (PRFC) não-protendido: o método caracteriza-se pela colagem do PRFC as estruturas com resina epóxi. A eficiência do PRFC é limitada por conta de problemas com a ancoragem do reforço. Portanto, para se obter a máxima eficiência da aplicação do PRFC, deve-se garantir a qualidade da limpeza e da aplicação do produto sobre a superfície do concreto.

Segundo Silva (2006), essa técnica é de fácil execução e com excelentes resultados em relação ao aumento da ductibilidade e da resistência da estrutura, grande durabilidade e pouca manutenção e economia de custos e tempo de paralisação. Devido ao seu baixo peso, o PRFC representa um acréscimo insignificante ao peso da estrutura e ao elemento estrutural, facilitando ocultar o reforço (FIG. 08).

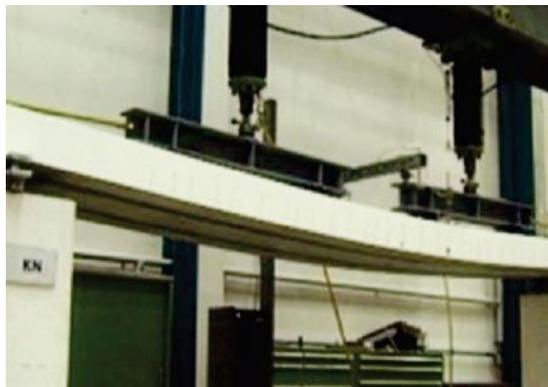
FIGURA 08: Viga reforçada com Fibras de Carbono (PRFC) não-protendido



Fonte: VIEIRA, 2009, p. 75

- Polímero Reforçado com Fibras de Carbono (PRFC) protendido: quando se aplicam PRF protendidos, colados externamente às estruturas de concreto armado, uma grande porção de concreto permanece comprimido nos estágios iniciais de carregamento, contribuindo, assim, para a resistência da estrutura. Nestes casos, o posicionamento da linha neutra indica uma grande eficiência estrutural. Isso significa que uma estrutura reforçada com PRF protendido apresenta um comportamento mais rígido em relação à mesma estrutura reforçada com PRF não-protendido (FIG. 09).

FIGURA 09: Teste em viga reforçada com Fibras de Carbono (PRFC) protendido



Fonte: GARCEZ; FILHO; MEIER, 2013, p. 358

#### 2.6.6 Reforço por compósitos formados por fibras de alta resistência e argamassa de cimento

O uso de fibras sintéticas de alta resistência tornou-se uma técnica para reforço de estruturas de concreto armado muito difundida. O sistema de Fibras Sintéticas em Matriz Cimentícia, foi recentemente melhorado através do uso de malhas de fibras de Polifenileno Benzobisoxazole (PBO).

Apesar do uso do epóxi apresentar excelentes resultados em termos de colagem e resistência, algumas desvantagens podem ser citadas, tais como: baixa permeabilidade, baixa compatibilidade térmica em relação ao concreto, baixa resistência ao fogo, etc. De acordo com Ombres (2011 *apud* PALIGA; REAL; FILHO, 2013, p. 220), para evitar alguns desses problemas, um sistema composto à base de tecidos ou malhas de fibras sintéticas coladas na superfície de concreto com argamassa de cimento, pode ser usado (FIG. 10).

Outras soluções para este tipo de sistema podem ser utilizadas, tais como: concreto reforçado com material têxtil, argamassa reforçada com material têxtil, concreto reforçado com fibras e tecido de fibras sintéticas em matriz cimentícia.

FIGURA 10 – Tecido de malha de PBO



Fonte: PALIGA; REAL; FILHO, 2013, p. 220

### 3 CONCLUSÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, pelo seu baixo custo, durabilidade, resistência e facilidade de preparação. Entre as características do concreto, as mais importantes para as estruturas são: durabilidade e resistência. A perda prematura dessas características, está diretamente relacionadas a erros de projeto, processos construtivos incorretos, emprego de materiais inadequados ou de má qualidade, falta de conservação e manutenção e uso inadequado. Esses fatores, quando não observados, levam ao aparecimento prematuro de patologias nas estruturas.

Os problemas patológicos simples admitem padronização, podendo ser resolvidos sem conhecimentos especializados. Aos problemas patológicos complexos, não é possível a aplicação dos mecanismos de inspeções e processos rotineiros de manutenção, obrigando a uma análise pormenorizada e individualizada do problema, sendo necessários profundos conhecimentos dos mecanismos de degradação das estruturas.

A eficiência do reforço de uma estrutura não está relacionada apenas à técnica utilizada ou à qualidade dos materiais utilizados; depende também da compreensão do engenheiro e dos principais mecanismos químicos e físicos de degradação das estruturas de concreto armado, como pressuposto básico para o correto diagnóstico das estruturas. As estruturas de concreto armado, quando diagnosticadas e reforçadas adequadamente, restabelecem as suas características originais e funcionalidade.

Atuar numa obra deteriorada, demanda conhecimentos específicos e diferentes dos empregados no projeto de novas estruturas. Projetar para a vida útil de uma estrutura, requer uma visão mais apurada dos mecanismos de degradação e da importância de certos detalhes e especificações de projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, Francisco Xavier; HERMERLY, Adriano Chequetto. **Concreto armado: novo milênio: cálculo prático e econômico**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 224 p.

ARAÚJO, Caroline Maia. **Reforço de vigas de concreto à flexão e ao cisalhamento com tecidos de fibras de carbono**. 2002. 140 f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

FIORITO, Antonio. **Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução**. 2.ed. São Paulo: Pini, 2009, 239 p.

GALLETTO, Adriana. **Reparo de Estruturas de Concreto: Contribuição ao estudo da aderência**. 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 2005.

GARCEZ, M. R.; FILHO, G. L. C. P. Silva; MEIER, Urs. Reforço de vigas de concreto armado com laminados de PRFC protendidos. Parte I: Análise sob ação de carregamento estático. **Revista do Instituto Brasileiro do Concreto de Estrutura e Materiais**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 343-361, jun. 2012.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MAGNAN, Murillo de Carvalho. **Pintura na proteção anticorrosiva**. 2011. 26 f. Artigo (Graduação em Tecnologia em Construção Naval) – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

MARCELLI, Maurício. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obra**. São Paulo: Pini, 2007. 259 p.

NETTO, Rafael Mantuano. **"Materiais pozolânicos"**. 2006. 147 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PALIGA, Charlei M.; REAL, Mauro V.; FILHO, Américo Campos. Análise numérica de vigas de concreto armado reforçadas por compósitos formados por fibras de alta resistência e argamassa de cimento. **Revista do Instituto Brasileiro do Concreto de Estrutura e Materiais**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 211 – 226, abr. 2013.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

SILVA, Erick Almeida da. **Técnicas de recuperação e reforço de estrutura de concreto armado**. 2006. 84 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

TAKATA, Leandro Teixeira; FILHO, Jasson Rodrigues de. Detalhes construtivos e a qualidade das estruturas em concreto armado. **Revista Concreto & Construções - Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON)**, São Paulo, n. 61, p. 60-65, jan., fev., mar. 2011.

THOMAZ, Ercio. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Pini, 2001. 451 p.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca, *et al.*. Programa de redução de riscos e aumento da vida útil de estruturas. **Revista Concreto & Construções - Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON)**, São Paulo, n. 68, p. 52-54, out./dez. 2012.

VAGHETTI, Marcos Alberto Oss. **Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento Portland**. 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

VIEIRA, Otávio de Borba. Fibra de carbono no reforço ao cisalhamento em vigas de concreto. **Revista Concreto & Construções - Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON)**, São Paulo, n. 53, p. 70-78, jan., fev., mar. 2009.