



FAEX – FACULDADE DE EXTREMA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO GONÇALVES LAMBERT

PATOLOGIA, REPARO E RECUPERAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Extrema
2018

LEONARDO GONÇALVES LAMBERT

PATOLOGIA, REPARO E RECUPERAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Faculdade de Ciências Sociais
Aplicadas de Extrema, como requisito
para obtenção do título de Engenharia
Civil.

Orientador: Afonso Henrique Vilela

Extrema

2018

LEONARDO GONÇALVES LAMBERT

PATOLOGIA, REPARO E RECUPERAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema – FAEX como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Data de aprovação: 10/ 12 / 2018

Banca Examinadora:

Prof. Afonso Henrique Vilela

Orientador

Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema

Prof. Carlos Eduardo Nunes

Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema

Prof. Marcelo Henrique Hermógenes

Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
FAEX – FACULDADE DE EXTREMA

Em sessão às 17h do dia 10 de dezembro de 2018 o (a) aluno (a) Leonardo Gonçalves Lambert apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado “**Patologias, reparos e recuperação de estrutura de concreto armado**” como requisito para conclusão do Curso de Engenharia Civil, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Leonardo Gonçalves Lambert (Aluno (a))

Prof. Afonso Henrique Vitela (orientador (a))

Prof. Marcelo Henrique Hermógenes

Prof. Carlos Eduardo Nunes

Aprovado

Aprovado com restrições ()

Reprovado ()

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais João e Aparecida, a minha namorada Andrieli que contribuíram com essa etapa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que aconteceu em minha vida, pois sem ele não somos nada, a minha namorada Andrieli que sempre esteve e estará ao meu lado nas horas boas e ruins, sempre me apoiando e motivando a seguir em frente.

Agradeço aos meus pais que me ajudaram e deram forças para não desistir dos meus objetivos!

Expresso minha profunda gratidão ao Admar e a Jacinta que me apoiaram, cobraram, e acreditaram em mim, para seguir até o fim.

Agradeço todos familiares e amigos que me apoiaram.

Agradeço todos profissionais da Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema que contribuíram diretamente a minha graduação do curso.

Agradeço aos verdadeiros amigos que nunca irei esquecer, pois eles proporcionaram momentos inesquecíveis nessa jornada, que levarei para o resto da minha vida.

E por fim agradeço ao meu professor e orientador Afonso Henrique Vilela que esteve sempre disposto a me ajudar, ensinando seus conhecimentos técnicos e práticos sobre concreto armado, muito obrigado!

“Nós somos os campeões meus amigos,
e nós continuaremos lutando até o fim,
nós somos os campeões!”

- Queen

RESUMO

Ao longo dos anos, as patologias no concreto armado vêm aumentando de forma freqüente e a necessidade de profissionais capacitados para avaliar e combater essas patologias crescem em conjunto. Este trabalho tem como objetivo apresentar patologias na estrutura de concreto armado, devido a atualidade do mercado da construção civil, onde estruturas de concreto armado são degradados antes cumprirem sua vida útil, devido a falhas e falta de experiência na concepção de projeto, o déficit da qualificação da execução da obra também influencia nos resultados negativos para a construção. Para tanto, tem aumentado a necessidade de conhecê-las e saber avaliar de forma correta a estrutura de modo que possa aplicar a melhor técnica indicada para cada caso. As técnicas mais utilizadas por causa dos seus resultados finais satisfatórios são, o reforço ou recuperação com concreto armado, chapas ou perfis metálicos, fibras de carbono, vidro ou aramida, conclui-se que combater as patologias acaba sendo um grande desafio e responsabilidade para os engenheiros.

Palavras-Chaves: Reforço; Recuperação; Estrutural.

ABSTRACT

Over the years, the pathologies in the reinforced concrete have been increasing frequently and the need for trained professionals to evaluate and combat these pathologies grow together. This work aims to present pathologies in the structure of reinforced concrete, due to the current state of our construction market, where reinforced concrete structures are degraded before they reach their useful life, the lack of qualification of the execution of the work also influence the negative results for the construction. To do so, it increased the need to know it and know how to properly evaluate the structure so that it can apply the best technique indicated for each case. The most commonly used techniques because of their satisfactory final results are, reinforcement or recovery with reinforced concrete, metal sheets or profiles, carbon fibers, glass or aramid fibers, it is concluded that combating the pathologies ends up being a great challenge and responsibility for the engineers.

Keywords: Reinforcement; Recovery; Structural.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|--------------------------------------|
| Figura 1 - Esforços solicitantes em viga de concreto armado..... | 22 |
| Figura 2 - Estrutura degradada e armadura parcialmente corroída | 24 |
| Figura 3 - Laje com fissuras causada pela retração do concreto | 25 |
| Figura 4 - Reforço transversal na viga | 30 |
| Figura 5 - Reforço da armadura positiva e transversal da viga | 31 |
| Figura 6 - Execução de forma correta para adicionar os novos estribos | 32 |
| Figura 7 - Complementação das barras corroídas..... | 33 |
| Figura 8 - Reforço transversal em um pilar (encamisamento) | 34 |
| Figura 9 - Escoramento da estrutura | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 10 - Escoramento da estrutura..... | 35 |
| Figura 11 - Adição de chapas metálicas..... | 36 |
| Figura 12 - Viga utilizando a fibra de carbono como reforço..... | 38 |
| Figura 13 - Etapas da aplicação da folha de fibra de carbono..... | 39 |
| Figura 14 - Aplicação do tecido de aramida..... | 41 |
| Figura 15 - Adição de fibra de aramida ao concreto para potencializar seu comportamento | 42 |
| Figura 16 - Tecidos de fibra de vidro | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Classes de agressividade ambiental (CAA) | 17 |
| Tabela 2 - Cobrimento nominal | 18 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1. JUSTIFICATIVA..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS | 14 |
| 1.2.1 Objetivos Gerais | 14 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 14 |
| 2. FATORES QUE DIMINUEM A DURABILIDADE E CAUSAM PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO..... | 15 |
| 2.1 Concepção de Projeto | 15 |
| 2.2 Execução de obra | 16 |
| 2.3 Cobrimento e cura do concreto armado..... | 16 |
| 2.4 DETERIORAÇÃO DO CONCRETO | 19 |
| 2.4.1 Ações físicas | 19 |
| 2.4.2 Ações Mecânicas | 20 |
| 2.4.3 Ações Químicas | 20 |
| 3.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS | 21 |
| 3.1 Fissuras | 21 |
| 3.2 Corrosão das armaduras | 23 |
| 3.3 Retração | 25 |
| 4. AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA ESTRUTURA | 27 |
| 4.1 Ensaios não destrutivos..... | 28 |
| 4.2 Ensaios destrutivos..... | 28 |
| 4.3 Diagnóstico | 28 |
| 5.TÉCNICAS DE REFORÇO E RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO | 30 |
| 5.1 Reforço com concreto armado..... | 30 |
| 5.2 Reforço com perfis e chapas metálicas | 36 |
| 5.3 Reforço com fibra de carbono..... | 37 |
| 5.4 Reforço com fibra de aramida..... | 40 |
| 5.5 Reforço com fibra de vidro | 42 |
| 6. CONCLUSÃO | 45 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado surgiu na Inglaterra em 1824, com o nome de cimento Portland; e desde então, é a aplicação de materiais mais utilizada no mundo. Entretanto, o concreto armado também está susceptível ao surgimento de problemas nas estruturas construídas, aos quais denominamos patologias.

As patologias mais comuns são as fissuras, corrosão, retração e degradação do concreto. São causadas por concepção inadequada de projeto, falha na execução ou baixa qualidade desta, falta de manutenção e de vistorias na estrutura e até mesmo negligência por parte dos profissionais envolvidos. Tendo em vista as dificuldades econômicas que o nosso país vivencia, há uma tendência de aumento da frequência desse quadro. Isto porque muitos proprietários se atentam somente à economia, não prezando pela qualidade. Além de fazer uso de materiais de qualidade questionável, muitas vezes optam por contratar profissionais que trabalham com ideologias e vícios construtivos. Nesses casos, não usufruem da segurança de trabalhar de forma correta e ainda colocam em risco as vidas envolvidas desde a execução até o desfrute dessas estruturas.

Dentre as técnicas mais utilizadas para reparo ou recuperação da estrutura, destaca-se o encamisamento de vigas e pilares usando o concreto armado e o reforço com colagem. Esse pode se utilizar de materiais distintos: polímeros de fibra de carbono, vidro e aramida, chapas e perfis metálicos. Essas técnicas apresentam resultados finais satisfatórios em função da segurança e eficácia; entretanto, a escolha dentre essas possibilidades deve ocorrer após análise do caso específico em questão.

1.1. JUSTIFICATIVA

O termo patologia é usado na construção civil pra fazer referência a possíveis anomalias que possam surgir nas estruturas, durante ou após sua execução, ocasionando danos que possam vir a reduzir a vida útil das mesmas. Segundo a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), a vida útil de estruturas prediais deve obter resultados mínimos de 50 anos.

As patologias estruturais geralmente ocorrem pelos mais variados fatores dentre estes problemas na execução da estrutura, tais como: má concepção da

estrutura, concretagem deficiente, escoramento mal executado ou ineficiente, formas montadas de forma inadequada, mal dimensionamento das armaduras.

Os problemas relacionados com a concretagem têm uma relação direta com o tempo que ele leva para ser lançado nas formas após sua preparação. O caso de demora na execução desta etapa compromete a trabalhabilidade em possivelmente pode até mesmo ocorrer a segregação dos agregados.

No lançamento do concreto o maior problema é a formação de espaços vazios, também conhecido popularmente dentro da área civil como bicheiras, para que isso não ocorra é preciso que a vibração e o adensamento sejam executados de maneira correta.

Durante a cura do concreto é essencial que estrutura não sofra tensões internas que, pois, estas poderiam ocasionar uma ruptura do concreto por retração elástica, contribuindo para possíveis formações de fissuras.

Em relação ao escoramento deve se atentar que a retirada precipitada das escoras pode provocar deformações na estrutura e formar fissuras.

O mal dimensionamento das armaduras são a causa mais comum das patologias. Cálculos estruturais incorretos que utilizem menos aço que o recomendado por norma e seu manejo durante a montagem feito de maneira inadequada contribuem para isto.

Fatores de utilização, a mudança da utilização da estrutura prevista em projeto também é um dos casos que ocasionam o aparecimento de patologias, essas mudanças de finalidade geralmente tentem a estar relacionadas com o aumento da sobrecarga.

As ações físicas estão relacionadas com variações de temperatura em decorrência do clima e de radiações onde o concreto é submetido.

A solução para os problemas causados pelas patologias depende, da análise da estrutura e da verificação das causas da mesma. Com os avanços tecnológicos ocorrido nas últimas décadas na área da engenharia civil a necessidade da recuperação de estruturas vem se tornando algo mais comum.

Atualmente existem diversas técnicas que permitem que estruturas danificadas sejam restauradas apresentando diversas vantagens e limitações.

A recuperação da estrutura tem como objetivo recuperar as propriedades da estrutura deteriorada e reforço consiste em aumentar a resistência da estrutura previamente antes do colapso.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem o objetivo de apresentar as principais causas das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, as técnicas de como avaliar e diagnosticar tais fatos e como reforçar ou recuperar as estruturas visando economia e segurança.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as causas das manifestações patológicas
- Como analisar e diagnosticar a patologia
- Apresentar técnicas de reparo ou recuperação das estruturas de concreto armado

2. FATORES QUE DIMINUEM A DURABILIDADE E CAUSAM PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

2.1 CONCEPÇÃO DE PROJETO

As estruturas de concreto armado têm a função de resistir aos esforços solicitantes com segurança. Devem ter a sua vida útil e durabilidade preservadas, mas isso não ocorre em alguns casos. Assim sendo, o resultado são patologias causadas por vícios construtivos, má concepção do projeto, agressividade química e física ou erros de cálculos.

Como exemplo de falhas de concepção, execução e utilização pode-se citar o uso de modelos de análise inadequados, hipótese de cálculo incorretas, detalhamento de armadura inadequado, desconsideração de ações relevantes, sub-quantificação das ações na estrutura, má especificação dos materiais a serem empregados, deficiência no controle de qualidade dos materiais e da execução, manutenção inadequada entre outros. REIS, (1998 apud MORAIS 1997 p.7)

A etapa de concepção é muito importante para o início e término correto da construção. Em muitos casos; a inexperiência do profissional e sua falta de familiarização com a rotina diária da obra; bem como a baixa qualificação do serviço a ser prestado, podem ocasionar inúmeros problemas patológicos à estrutura.

Muitas são as causas passíveis de gerar patologias estruturais, mas também vários são os problemas atrelados à concepção das estruturas de concreto armado. Dentre esses, podemos destacar:

- Má avaliação da carga suportada pelo solo
- Deficiências no cobrimento das armaduras, incompatível com seu local de exposição
- Erros de cálculos da estrutura
- Especificações de materiais inferiores
- Falta de compatibilidade entre projetos (hidrossanitário, elétrico, arquitetônico, entre outros).
- Falta de experiência com detalhes impossíveis de serem executados e concepção de vãos entre pilares.
- Vícios construtivos

2.2 EXECUÇÃO DE OBRA

Com a etapa de concepção pronta, inicia-se a execução, que na maioria dos casos com orçamentos e prazos curtos, a execução tem vários riscos de erros por serem feitos artesanalmente além da falta de mão de obra qualificada, materiais de baixa qualidade, falhas de fiscalização.

A ocorrência de problemas patológicos cuja origem está na etapa de execução é devida, basicamente, ao processo de produção, que é em muito prejudicado por refletir, de imediato, os problemas socioeconômicos, que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como os serventes e os meio-oficiais, e mesmo do pessoal com alguma qualificação profissional. (SOUZA E RIPPER, 1998, p.25).

Muitos problemas encontrados sobre a utilização da estrutura são geradas devido à execução de várias atividades ao mesmo tempo. É muito usual ocorrer nessa etapa, ocorrer problemas com a mistura. A preparação do concreto tem relação direta com a sua trabalhabilidade: quanto mais água, mais fluido fica o concreto, facilitando o seu transporte. Essa relação entre água e cimento é fundamental para obter resultados satisfatórios. O não comprometimento com a técnica adequada pode acarretar patologias futuras para a estrutura. A quantidade de água vai determinar as características como porosidade, fissuração, densidade, permeabilidade e resistência mecânica. O excesso de água na mistura pode facilitar a entrada de umidade e agentes corrosivos no interior das peças, provocando a sua degradação e diminuindo sua durabilidade.

É importante mencionar que falhas de concretagem ignoradas ou corrigidas a tempo também pode causar problemas a estrutura, principalmente em regiões de alto riscos.

Com o avanço tecnológico da produção do cimento, as construções tendem a serem menos duráveis, devido a resultados com altas resistências mecânicas das peças utilizando menos área de trabalho do concreto, deixando de um pouco de lado a relação água cimento.

2.3 COBRIMENTO E CURA DO CONCRETO ARMADO

É essencial o cobrimento da superfície da estrutura seja feito de forma correta e combatível com norma vigente para proteger da entrada de agentes que podem danificar a estrutura, a espessura da camada de proteção da armadura pode variar

de acordo com a classe de agressividade do local onde será edificado, conforme a NBR 6118 (ANBT, 2014 p.17), descreve os tipos de classe de agressividade em função do ambiente e seus riscos:

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|--|------------------------------------|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana ^{a, b} | Pequeno |
| III | Forte | Marinha ^a | Grande |
| | | Industrial ^{a, b} | |
| IV | Muito Forte | Industrial ^{a, c} | Elevado |
| | | Respingo de maré | |

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientais com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Tabela 1- Classes de agressividade ambiental (CAA)

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p.17) tabela 6.1

Segundo a norma NBR 6118 (2014), ela descreve os tipos de classe que se deve considerar para fazer o cálculo da estrutura e conseqüentemente as considerações para dimensionar a armadura com o cobrimento necessário, concluindo que áreas rurais possuem risco praticamente insignificantes e áreas urbanas de risco moderado, devendo ter considerações maiores em ambientes industriais que produzem produtos químicos nocivos ao concreto e aço, áreas à beira de mar trazem riscos ainda maiores por causa do alto risco de degradação do concreto e corrosão do aço.

As armaduras devem trabalhar em conjunto com o concreto, de modo que facilite sua trabalhabilidade e promover bom resultado final, prevendo o espaço ideal de cobrimento das barras para entrada da agulha do vibrador nos pontos mais difíceis da forma, evitando que fique lugares sem concreto, conforme a NBR 6118

(ANBT, 2014 p.20), descreve de acordo com a classe de agressividade o cobrimento ideal para laje, viga, pilar e fundação:

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental | | | |
|----------------------------------|--|-----------------------------------|----|-----|-----------------|
| | | I | II | III | IV ^c |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje ^b | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com solo ^d | 30 | | 40 | 50 |
| Concreto protendido ^a | Laje | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Viga/pilar | 30 | 35 | 45 | 55 |

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta tabela podem ser substituídas pela de 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal $\geq 15\text{mm}$.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^dNo trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45\text{mm}$

Tabela 2 - Cobrimento nominal

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p.20) tabela 6.1

É essencial que armadura obtenha uma camada de concreto adequado e com alta qualidade para sua proteção, variando de 20mm a 55mm. Falhas resultantes após a concretagem ou a longo prazo podem ser causadas por adensamento, segregação e fôrmas.

Adensamento é a movimentação do concreto com a finalidade de diminuir o números de vazios, bolhas de ar, excesso de água, tal que o concreto fique denso e compacto, mas se houver excesso ou falta de vibração, podem gerar problemas de segregação ou bicheiras, tornando a estrutura mais suscetíveis e expostas a corrosão.

As formas são feitas com materiais que podem absolver a água do concreto, formando uma camada fina e densa do cimento em sua superfície.

A segregação trata-se da separação dos materiais que formam o concreto. Muitas vezes ocorre devido a lançamentos de alturas superiores às recomendadas.

Outro fator importante para que não ocorra problemas estruturais é a cura. Um processo de cura adequada é essencial para garantir a qualidade do revestimento da peça.

Uma cura inadequada aumenta as deformações específicas devidas à retração. Como esta deformação é diferenciada entre as diversas camadas constituintes da peça, principalmente se esta for de grandes dimensões, poderão ser geradas tensões capazes de provocar acentuada fissuração do concreto. Assim, pode-se dizer que, na prática, a cura é a última de todas as operações importantes na execução de uma peça de concreto armado, com reflexos diretos na resistência e durabilidade da peça. (SOUZA E RIPPER, 1998, p.30).

Souza e Ripper (1998) afirmam que a cura mal feita pode trazer o déficit de resistência final, pode causar a retração de uma peça com grandes dimensões concretadas em dias inadequados e conseguinte deixando o concreto permeável facilitando o acesso de água, gases agressivos a armadura.

2.4 DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, por ser um material durável, se usado de forma correta. Mas algumas ações como: físicas, mecânicas e químicas, podem provocar sua degradação de forma simultânea e progressiva, envelhecimento, perda gradual de resistência aos esforços que lhe foram impostas pelo projeto estrutural.

2.4.1 Ações físicas

Segundo Souza e Ripper (1998), as principais ações físicas que contribuem para deteriorar a estrutura: as mudanças de temperaturas, movimentações internas dos materiais sob as mudanças de temperaturas, mas com seus coeficientes de dilatação diferentes, como exemplo o assentamento de alvenarias em estrutura de concreto que se manifestam de formas diferentes. O vento também ocasiona mudanças físicas a estruturas, principalmente no caso de galpões industriais que são propícios a correrem riscos de levantar sua estrutura, perdendo aderência com o solo ocasionando a perda total da estrutura em alguns casos.

2.4.2 Ações Mecânicas

As ações mecânicas destacam-se cargas excessivas, não previstas em projeto, podem provocar o aceleramento de fissuras ou seu aumento, abrindo-se o caminho para outras formas de deterioração se instale na estrutura, por sua vez é importante que os usuários utilizem a estrutura de forma correta conforme o projeto. Outras ocasiões podemos citar onde ocorre acidentes, batidas de automóveis em lugares como pilares, podem afetar drasticamente o desempenho mecânico do pilar.

2.4.3 Ações Químicas

As ações químicas ocorrem principalmente pelo meio ambiente, pelas condições de umidade, temperatura, substâncias que ocasionam reações químicas reduzindo a vida útil da peça de concreto, sendo as ações químicas uma das causas principais de deterioração, destaca-se alguns fenômenos que ocorrem freqüentemente:

Para Souza e Ripper (1998), a poluição das grandes cidades ocasiona em apodrecimento e a descoloração do concreto, sendo essas substâncias poluidoras transportadas pelo ar.

As substâncias poluidoras transportadas pelo ar são, em grande maioria, provenientes de gases e fuligens liberados pelos escapamentos dos veículos automotores, e dos gases ácidos provenientes das chaminés de algumas indústrias. O dióxido de enxofre, SO_2 , e o trióxido de enxofre, SO_3 , em forma de fuligem, são provenientes da queima de óleos combustíveis, gases residuais e hidrocarbonetos. Quando chove, a água precipitada forma, junto com a fuligem existente no ar, a chamada chuva ácida (H_2SO_3 e H_2SO_4), fortemente agressiva para o concreto e que, após um certo tempo, ataca também o aço. (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 54)

Ácidos e sais, são ocasionadas pela água do mar ou água contaminadas com dejetos industriais, na ocasião das águas marítimas o risco de danos maiores é inevitável, por causa das marés onde ocorre as ondas das águas na estrutura, molhando e depois secando diante ao sol, a água do mar contém cloretos e sulfatos de magnésio e sódio altamente agressivos. (SOUZA E RIPPER, 1998).

As águas contaminadas das indústrias pode ocasionar danos sérios a estrutura quando houver ácidos em suas misturas.

3.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Na engenharia civil quando se trata de problemas em estruturas onde os resultados mecânicos e seu desempenho de resistir os esforços solicitantes não saem como planejados, pode-se dizer que houver alguma manifestação patológica a estrutura, que se deve analisá-la o mais breve possível para que não haja maiores problemas.

Enfatiza-se algumas patologias que ocorrem de formas mais freqüentes, que prejudicam a durabilidade, qualidade, desempenho diante aos esforços: fissuras, corrosão das armaduras e retração.

3.1 FISSURAS

No concreto armado é normal que apareça fissuras, sendo elas de dimensões quase invisíveis ao olhar ou de dimensões que chamam atenção até de pessoas leigas ao assunto, mas é pelas fissuras onde substâncias agressivas começam degradar a peça.

[...] a caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência a tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões trativas, que podem ser instaladas pelo mais diversos motivos, superarem a sua resistência última de tração. SOUZA E RIPPER (1998, p.57)

Para Thomaz (1989), com o avanço da tecnologia na construção civil, seja como técnica para criação de projetos execução ou avanços tecnológicos dos materiais, as peças de concreto armado se tornaram mais leves e esbeltas, facilitando sua movimentação e conseqüentemente resultando em fissurações.

Para melhor explicação, Souza e Ripper (1998) descrevem alguns fatores que contribuem na criação de fissuras na estrutura, como:

- Deficiências de projeto: ocorre por falhas do profissional, em que ocorre a falta experiência de concepção das estruturas, falhas no detalhamento, erros de cargas, inadequação do projeto junto ao local da construção ou falta de cobrimento corretos da estrutura.
- Contração plástica do concreto: é um processo de evaporação de forma muito rápida, que acontece antecipadamente à pega do concreto, ao utilizar muita água na sua mistura. Esse fenômeno ocorre

com mais freqüência em concretagens de grandes extensões, resultando em sua contração.

- Assentamento do concreto e diminuição de aderência das armaduras: ocorre o movimento natural do concreto por força da gravidade sendo impedido pelas barras de aço ou por formas, mesmo que a camada de concreto seja mais espessa.

A fissuras ocorridas na estrutura devem ser avaliadas em função do esforço solicitante, conforme figuras a seguir:

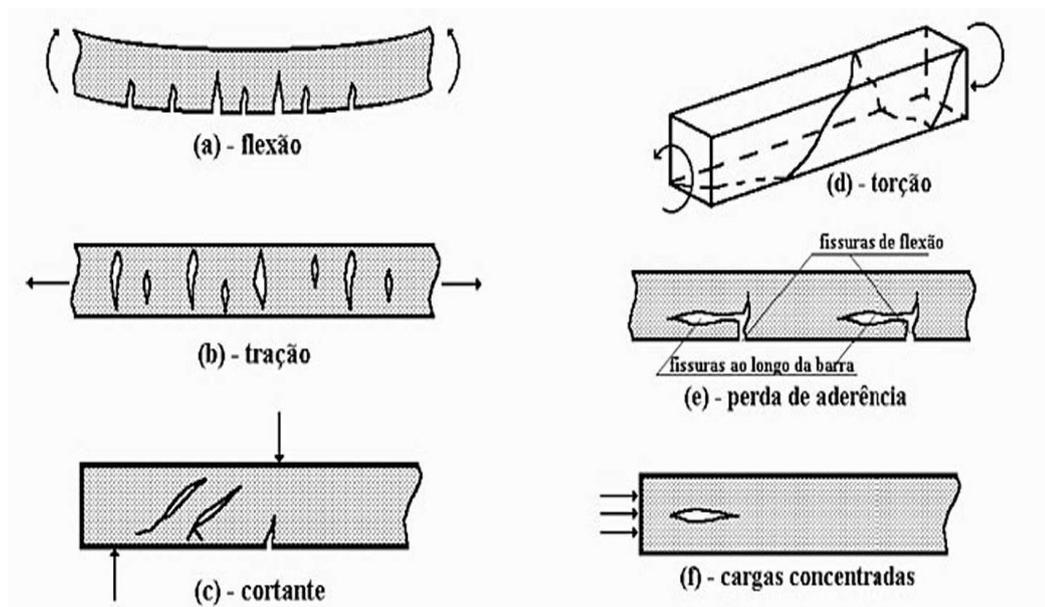


Figura 1 - Esforços solicitantes em viga de concreto armado

Fonte: Livro Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. SOUZA E RIPPER (1998)

- (a) Flexão: Momentos fletores na estrutura, gerando momento positivo (tração) contido pela área de aço e momento negativo (compressão) contido pelo concreto.
- (b) Tração: esforço resistido pelo aço
- (c) Cortante: esforços resultantes da flexão que devem ser contidas pelos estribos.
- (d) Torção: ocorre por falta de travamento da base ou topo da viga, laje apoiada na viga por exemplo evita esse fenômeno.
- (e) Perca de aderência: ocorre por má execução da concretagem
- (f) Cargas concentradas: esforço do vento por exemplo que deve ser resistida pela viga.

O processo de fissuração pode ocorrer de diversas maneiras, e para obter resultados satisfatórios com precisão e eficácia, é relevante o desenvolvimento de análises que determinam corretamente as causas e configurações das fissuras, como sua variação ao longo do tempo, variação de abertura, e após sua identificação de forma coerente, estabelecer técnicas e procedimentos para a sua recuperação.

3.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS

Souza e Ripper (1998, p.65) afirmam que, a corrosão é ocasionada pela destruição da camada de proteção passivante em torno da barra de aço, sendo essa camada formada pelo resultado entre a dissolução do ferro em conjunto com alcalinidade da solução aquosa existente no concreto. Sendo sua destruição interativa entre a barra de aço em conjunto com o ambiente, sendo seu processo eletroquímico.

Em qualquer caso o processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, dá-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito – no caso, a solução aquosa existente no concreto – em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço. A passagem de átomos de ferro à superfície aquosa, transformando-se em cátions ferro (Fe^{++}), com o conseqüente abandono da barra de aço à carga negativa, instalam a diferença de potencial. (SOUZA E RIPPER 1998, p.66).

Nota-se que o concreto forma uma película protetora em torno as barras de aços, mas em contrapartida o concreto pode absorver substancias presentes no ambiente, que contribuem de forma agressivas para a sua deterioração, como: CO_2 (dióxido de carbono), SO_2 e SO_3 (óxido de enxofre) e S^{-2} (cloretos), sendo essas substancias absorvidas ou até contida no concreto.

Souza e Ripper (1998, p.66) relaciona três tipos de corrosão nas armaduras:

- Corrosão por tensão fraturante: ocorre onde as barras de aço são submetidas a grandes esforços mecânicos, que em conjunto com o meio agressivo, podem provocar fragilidade estrutural, perdendo sua condição de serviço.
- Corrosão localizada: ocorre pela ação de íons agressivos, como cloretos. Em sua maioria, está associada à presença de umidade e oxigênio.

- Corrosão generalizada: ocorre pela perda de pH do concreto para valores menores a 9 e pela ação dissolvente do CO₂, transportado por fissuras concreto sobre o cimento hidratado.

Existem fatores que aumentam a velocidade de corrosão, como exemplos: variações de temperaturas na estrutura, porosidade, ambiente do imóvel, umidade excessiva, cobrimento inferior necessário.

O cobrimento das armaduras é um dos fatores principais para a proteção do aço, formando uma camada alcalina de proteção a armadura de substâncias agressivas. A norma NBR 6118 (2014), determina o cobrimento da armadura conforme a agressividade do ambiente onde será feita a edificação, lembrando que se deve observar o tipo de concreto a ser executado, tempo necessário de cura e outras considerações relevantes para que sejam minimizados a corrosão das barras.

Em caso onde o concreto tenha se deteriorado por falta de cobrimento e aumento de fissurações, a corrosão das barras de aço poderá ser eminente, fragilizando sua estrutura como fundações, pilares, vigas e laje.

[...] neste caso, como em qualquer caso em que haja fissuração, o processo é agravado, pois o acesso direto dos agentes agressivos existentes na atmosfera multiplicam e aceleram a corrosão, combinando situações de ataque localizado com outras de ataque generalizados. As fissuras formadas acompanham o comprimento das armaduras. SOUZA E RIPPER (1998, p.68)



Figura 2 - Estrutura degradada e armadura parcialmente corroída

Fonte: https://www.construtoragenova.com.br/midia/techne_recuperacao_estrutural/
Acesso em 31/10/2018.

Em ocasiões onde não são levados em consideração os cuidados necessários na produção, execução, utilização e manutenção da estrutura a

corrosão da armadura pode ser inevitável conforme seu estado, aumentando cada vez mais sua deterioração por toda a estrutura, provocando fissuras, separação do concreto junto a armadura e alguns casos a inviabilidade de sua recuperação.

3.3 RETRAÇÃO

Retração é um processo onde ocorre a redução de volume na massa de concreto, ocasionada pela diminuição de água no concreto por exsudação, de forma mais simples é a evaporação da água. A retração possui vários tipos de manifestações tais como: retração química, térmica e plástica.

Retração química: é a diminuição de volume desde o início da hidratação, pois os produtos gerados possuem volumes menores que os materiais que originaram a reação da mistura da água e cimento.

Retração térmica: é provado pelo calor liberado na reação de hidratação, que expande o concreto no começo e ao se resfriar ocorre redução de volume.

Retração plástica: ocorre ainda no seu estado plástico, gerando fissuras em suas superfícies. Predominantemente em concretagens de grandes dimensões como lajes, quando o concreto está sendo lançado na superfície, temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, relação água e cimento são responsáveis pela secagem rápida do concreto e aparecimento de fissuras ao longo da superfície.

[...] se este comportamento reológico não for considerado, quer em nível de projeto, quer de execução, são grandes as possibilidades de um quadro de fissuração, que pode levar à formação de trincas que seccionam completamente as peças mais esbeltas, como no caso de lajes e paredes. (SOUZA E RIPPER 1998, p.63)



Figura 3 - Laje com fissuras causada pela retração do concreto

Fonte: <http://construcaomercado17.pini.com.br/negociosincorporacaoconstrucao/170/saiba-o-que-considerar-no-tratamento-de-patologias-em-lajes-363600-1.aspx> acesso em 31/10/2018

4. AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA ESTRUTURA

Ao constatar que uma estrutura de concreto armado apresenta problemas patológicos, torna-se necessário fazer uma vistoria e avaliação detalhada para saber a real situação estrutural da edificação, avaliando anomalias existentes, causas e providencias a serem tomadas, técnicas para seu reforço ou recuperação. (SOUZA E RIPPER 1998, p.78).

Claramente, quanto mais precoce seja diagnosticado a estrutura, menor será os riscos de perda de desempenho da peça ou a estrutura como um todo, e principalmente será mais fácil de executar o reparo e mais viável financeiramente.

Na vistoria da estrutura o profissional deve coletar o máximo de informações sobre o estado em a estrutura se encontra, analisar os documentos do projeto, para ter a melhor análise do caso e diagnosticar de forma precisa, alguns procedimentos podem servir como base para a vistoria:

- classificação do meio ambiente conforme o grau de risco da edificação
- determinar as causas patológicas com base nos danos encontrados na peça
- avaliar a estrutura de modo geral, de modo que a segurança esteja em primeiro lugar, executando as medidas cabíveis. Em caso de alto riscos a vida, fazer a evacuação do imóvel e proceder com o escoramento da estrutura.

- analisar todos os andares (se houver), cômodo por cômodo, se possível fotografar para provas.

- buscar e analisar a documentação do imóvel como, RRTs do responsáveis pelos projetos: arquitetônico, estrutural (memória de cálculo), elétrico, hidráulico, além da documentação pública como alvará de licença para construir, habite-se (liberação para habitar o imóvel), matrícula de inteiro teor, para que seja feito a análise e verificar se está tudo dentro das normas e leis vigentes.

- utilizar de exames e aparelhos técnicos para ampliar as informações da estrutura tais como: ensaios não destrutivos (esclerometria, ultrassonografia, pacometria, potencial eletroquímico) e ensaios destrutivos (corpos de prova).

A segunda etapa deverá ser feita a análise das informações colhidas, para saber como surgiram e foi desenvolvido a patologia na estrutura.

Está análise deverá ser feita de forma pormenorizada, para evitar que as anomalias mais graves não sejam detectadas por estarem ocultas por anomalias superficiais, assim como se deve verificar atentamente se não houve mais do que um fator gerador do sintoma patológico que está sendo analisado. (SOUZA E RIPPER 1998, p. 79).

4.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Esclerometria: ensaio para medir a capacidade de resistência a compressão do concreto (f_{ck}) empregado na estrutura.

Ultrassonografia: ensaio de verificação da estrutura interna da peça concretada e estimativa do módulo de elasticidade.

Pacometria: ensaio para dimensionar a camada de cobrimento da armadura de aço e estimativa da área de aço empregada na estrutura.

Potencial eletroquímico: verifica a o estado de corrosão da armadura.

4.2 ENSAIOS DESTRUTIVOS

Retirada de corpos de prova para determinar o módulo de elasticidade, resistência com análise e resultados feitos em laboratórios.

Ensaio de retirada do concreto in loco para avaliar a aderência entre os materiais constituintes estimando sua resistência.

4.3 DIAGNÓSTICO

O diagnóstico final é a fase mais importante do processo de avaliação. É com base no colhimento de dados e análise da estrutura que resultará em sucesso ou fracasso da aplicação a ser executada. Uma análise e diagnóstico feita de modo equivocado implicará em aplicações que não iram resolver o problema da estrutura, dificultando análises futuras e a perda do investimento.

Ao diagnosticar a estrutura pressupõe que a manifestações patológicas e conhecimento dos sintomas, causas e origens foram confirmadas, de modo que houve uma redução dos números de dúvidas.

Cabe ressaltar que existem vários tipos de patologias e suas manifestações na estrutura, para diagnosticar de forma correta suas intervenções, pode-se definir alguns métodos para durabilidade e tempo de vida útil da estrutura:

- Reparo: é a intervenção contra problemas patológicos de pequeno grau de deterioração da estrutura.
- Reforço: é o aumento de resistência as esforços e segurança, sendo possível a estrutura começar a dar pequenos sinais de dificuldade de executar sua função, na maioria dos casos com tempo para planejar e executar a melhor técnica.

- Recuperação ou reabilitação: é corrigir problemas patológicos de médio a alto gravidade de riscos, caso a peça em questão não resiste mais aos esforços e pode entrar em colapso a qualquer instante colocando a estrutura em risco, ocasionado em correções rápidas para seu alívio de carga e reabilitação para exercer sua função.
- Condenação: é quando na maioria dos casos não existe tempo e sentido fazer recuperação ou reabilitação, por muitas ser inviável o gasto com a estrutura e com alto riscos a obras vizinhas e a vidas ali próximas, devendo ser feito interdição resultando em sua demolição e conseqüentemente a possível criação de um novo empreendimento.

A última etapa, o diagnóstico, só poderá ser efetuada após a conclusão das etapas de levantamento e de análise. Frequentemente ocorre ter-se que retornar à primeira etapa, pois só após algumas tentativas de diagnóstico é que se consegue saber da necessidade de coleta e análise de novos elementos. O diagnóstico, dependendo de uma série de fatores (econômicos, técnicos, de segurança e de conforto), poderá levar mesmo a demolição da estrutura, já que o binômio custo-benefício pode indicar a inviabilidade de se efetuar a recuperação ou o reforço, em virtude da extensão dos danos e do alto custo envolvido. (SOUZA e RIPPER 1998, p.81).

5. TÉCNICAS DE REFORÇO E RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

5.1 REFORÇO COM CONCRETO ARMADO

Este método de reforço consiste em aumentar mais camadas de armação e de concreto para a recuperar sua capacidade de carga da estrutura, esse método é vantajosa do ponto de vista econômico pela simplicidade de seus materiais e principalmente a facilidade de execução.

Para iniciar a execução do reforço em armaduras é necessário fazer um escoramento, aliviando a carga do elemento, para não ocorrer o pré-tencionamento da armadura existente e adicionada.

As técnicas a serem iniciadas em vigas, pilares e lajes e entre outros, deve ser previamente estudada a sua necessidade, reforço ou recuperação, se deve ser feito o aumento da área de aço positivo ou negativo, aumento da armadura longitudinal ou transversal e, portanto, a ampliação da área de serviço do concreto.



Figura 4 - Reforço transversal na viga

Fonte: disponível em <https://fotos.habitissimo.com.br/foto/reforco-estrutural-de-viga>
Acesso em: 31/10/2018

O método de recuperação com ampliação da seção representa excelentes resultados em relação a pilares e vigas, também conhecida como encamisamento, existe algumas desvantagens tais como, perda de área útil devido a ampliação da seção das estruturas e conseqüentemente um aumento de peso, mudança no

aspecto arquitetônico que pode não agradar, segundo Reis (2001, p.20) cria uma alternativa para melhorar o resultado final da estrutura, usando o concreto de alto desempenho resultando na adoção de espessuras menores, não havendo alterações significativas no aumento das dimensões do elemento reforçado.

Uma viga com déficit de resistência devido falhas ou aumento de cargas, tem como resultante o aumento dos esforços de cisalhamento e momentos fletores e logo pode ser feito a ampliação de resistência a tração com as armaduras de aço e a compressão contidas pelo o concreto.

Segundo Souza e Ripper (1998, p.162) para aumentar as armaduras positivas deve seguir os procedimentos:

- Cortar a face inferior da viga até que as barras da armadura existente fiquem totalmente expostas. Recomenda-se que seja deixado um espaço de pelo menos 2,5cm entre estas barras e o concreto.
- Fazer sulcos verticais nas faces laterais da viga, as distancias determinadas em projeto, de forma a que os novos estribos fiquem perfeitamente encaixados.
- Apicoar as faces laterais da viga.



Figura 5 - Reforço da armadura positiva e transversal da viga

Fonte: <http://www.jeeengenharia.com.br/> Acesso em: 31/10/2018

Aumento de resistência a cisalhamento e ampliação da seção transversal da armadura.

Para facilitar a execução, ter praticidade, na maioria dos casos e usado apenas estribos, e como foi mencionado logo acima ao fazer sulcos verticais para facilitar encaixes resultando em uma boa concretagem, são usados estribos abertos para resistir aos esforços de cisalhamento, em casos mais específicos podem também ser usado chapas coladas ou fibras.

Segundo Souza e Ripper (1998, p.165), “a colocação dos estribos em posição, após uma rigorosa limpeza de toda a viga, os estribos são colocados abertos e fechados apenas após sua amarração à armadura longitudinal”.

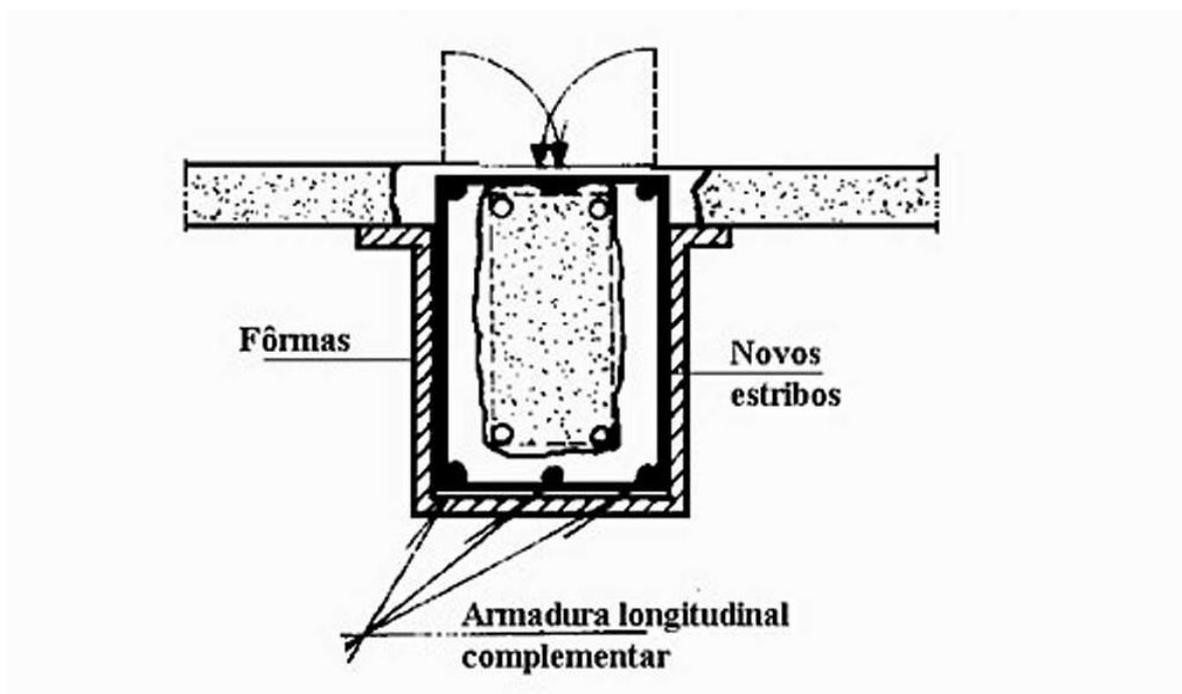


Figura 6 - Execução de forma correta para adicionar os novos estribos

Fonte: Livro Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto, SOUZA E RIPPER (1998)

O reforço em vigas segue os mesmos procedimentos que os aplicados aos pilares, sendo necessário o apoio da estrutura (escoramento) suportada pela viga para que seja feita a retirada da camada para adesão entre o concreto velho e a nova concretagem, usando uma resina a base de epóxis.

Na maioria dos casos as armaduras apresentarão algum estado de corrosão, deve ser feito o tratamento assim como o concreto, usando algumas aplicações de

demãos de resina a base de epóxi com zinco, devendo a armadura ser lixada e logo em seguida é feito as aplicações de demãos para defender a estrutura contra corrosões já contaminados com cloretos e nas maiorias dos casos haverá necessidade de aumento da quantidade de barras existentes, por causa de barras já corroídas.

Como reforço ou caso em que se pretenderá adequar ou ampliar a capacidade de resistência da peça, seja como recuperação, quando por corrosão geralmente as barras existentes perdem parte de sua seção original e necessitam de complementação para que as condições de segurança e desempenho sejam restabelecidas.(SOUZA E RIPPER. 1998, p.142):

Para que ocorra a complementação deve-se levar em consideração a situação típica representada na figura.

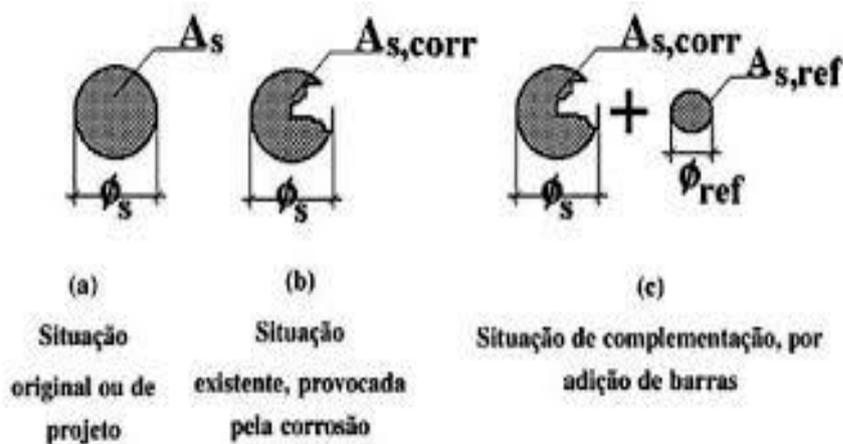


Figura 7 - Complementação das barras corroídas

Fonte: Livro Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto, SOUZA E RIPPER (1998)

A avaliação da peça corroída deverá sempre considerar a segurança, e a partir do primeiro a adição de barras sempre que a área reduzida de aço estiver ultrapassado 15% ou seja **$A_{s,corr} < 0,85 A_s$ (área de aço corroído)**, existindo exceções para casos extremamente graves, devendo ser avaliado de forma única, avaliando toda seção transversal.

Na execução de emendas de reforços das barras longitudinais é de suma importância as emendas ocupar os menores comprimentos longitudinais possíveis (dentro da margem de segurança), para não ocorrer remoção excessiva do concreto.

O que interessa é que o comprimento de emenda seja o necessário para garantir que sejam transferidos para a barra de complementação os esforços que solicitam a barra corroída de forma que o trabalho solidário das duas efetivamente se consolide. (SOUZA E RIPPER 1998, p.145).



Figura 8 - Reforço transversal em um pilar (encamisamento)

Fonte: disponível em <https://www.pinterest.pt/>

Os pilares que recebem reforço de seção transversal devem ter um aumento mínimo em sua espessura de 10 cm. A execução do reforço deve ser feita inicialmente retirando trechos com profundidade de 4 cm da estrutura que será reforçada, para que exista uma boa adesão entre o concreto antigo e a nova concretagem.

Na maioria dos casos os pilares que receberam o reforço já estão em grau de deterioração, a retirada da camada superficial para que ligação entre os concretos pode comprometer ainda mais a sua estrutura. Para que isso não ocorra é importante que a estrutura suportada pelo pilar seja apoiada de modo que haja um alívio da carga aplicada no pilar.



Figura 9 - Escoramento da estrutura

Fonte: http://www.athena.eng.br/servicos/reforco_de_estruturas.html

Após feita a concretagem os apoios da estrutura que o pilar suporta devem ser mantidos até o concreto atingir sua resistência máxima, o aumento na dimensão da peça será de 10 cm para a complementação de uma camada e 15 cm em duas camadas.

Essa técnica apresenta vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Materiais comumente utilizados são de baixo custo
- Fácil encontrar mão de obra
- Várias possibilidades para sua modulação e formatos
- Resiste ao fogo

Desvantagens:

- Riscos na execução para obter boa aderência entre o concreto velho e a nova concretagem
- Maior tempo de execução e tempo de cura
- Geração de resíduos e barulhos excessivos
- Falta de capacidade técnica para executar
- Mudanças arquitetônicas e perda de área útil

5.2 REFORÇO COM PERFIS E CHAPAS METÁLICAS

A técnica com reforço com chapa e perfis metálicos são opções de bons resultados finais, tratando de capacidade de carga, com resultados muito eficientes e rapidez na execução, é uma opção a se considerar quando é necessário resultados rápidos, quando se há situações de emergência, podendo ser feitas por colagem ou chumbamento das chapas metálicas ou perfis ou com auxílio de camadas de resina a base de epóxi injetada, conforme figura:

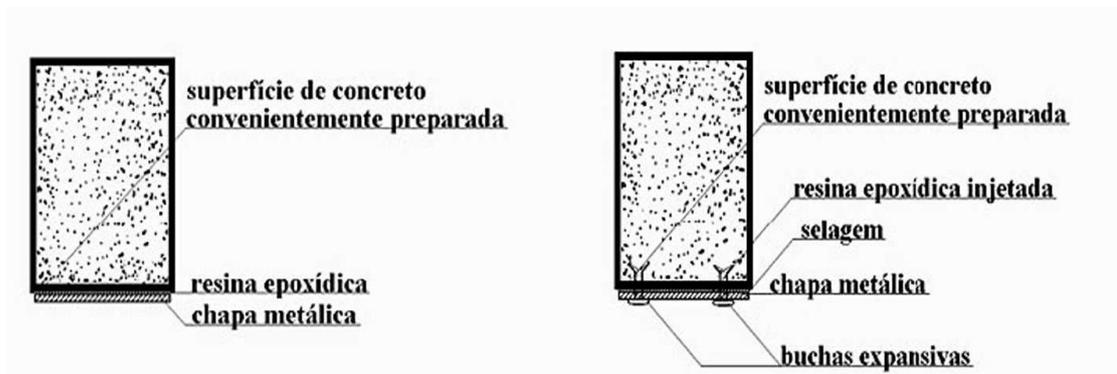


Figura 10 - Adição de chapas metálicas

Fonte: Livro Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. SOUZA E RIPPER (1998)

O ponto mais importante para que o esforço obtenha um resultado final satisfatório e a ligação da superfície do concreto, resina e a chapa metálica, a superfície deve ser preparada antes de qualquer aplicação, o mais indicado segundo Souza e Ripper (1998, p.149) "será a obtenção de uma superfície uniformemente rugosa, com a aspereza resultante de sua submissão a jato de areia, por exemplo, ou quando tal não for possível, pela contínua e cuidadosa percussão provocada por martelo de agulhas".

Após o apicoamento a superfície do concreto que receberá a resina e a chapa deverá estar limpa e seca por jatos de ar comprimido para a aplicação da cola.

Antes da aplicação da chapa deve-se tomar cuidado com seu manuseio, armazenamento e transporte, para proteger a chapa de agressões ambientais durante o transporte, é interessante que a superfície da mesma, seja feita uma decapagem, desengordurada com triclorometano, e logo após poderá ser protegida com filme autocolante apropriado evitando sua exposição até a hora de sua aplicação.

Para execução, as chapas devem estar posicionadas corretamente e sofrer uma pressão uniformemente distribuída para evitar excessos de resinas.

As chapas que não precisarem ter contato com a resina epóxica deverá ser feito o seu tratamento com tinta anticorrosiva, aplicada com uma demão de primário epóxido em pó de zinco nas peças.

Mesmo feito os procedimentos corretos, poderá ser feito de forma para ampliar a segurança, a introdução de chumbadores nas extremidades das chapas para o aumento da capacidade mecânica e deve ser feita a soldagem de topo da junta das diversas partes dos componentes das chapas metálicas.

Para a execução da técnica usando os perfis metálicos deve seguir os mesmo procedimentos anteriores (chapas) em relação preparar as superfícies do concreto e dos perfis metálicos, as principais diferenças estão nas ligações que utilizam chumbadores, normalmente buchas expansivas, e somente após a inserção dos chumbadores é feita injeção da resina para o preenchimento dos vazios existente entre a chapa e o concreto, levando em consideração que a resina deve ser menos viscosa para preencher os pontos mais críticos, evitando falhas na execução.

Vantagens e desvantagens desse método:

Vantagens:

- Rapidez e eficácia na execução
- Material industrializado evitando desperdícios
- Menor número de funcionários para o trabalho
- Pouca geração de ruídos
- Obra limpa

Desvantagens

- Requer manutenção
- Perca de grandes áreas úteis, quando se tratar de perfis

5.3 REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO

As Fibras de Carbono tem seu modulo de elasticidade variando entre 230 e 64 Gps e com resistência entre 1500 e 5000 Mpa (BEBER p.29, 2003). Por isso elas são as maiores indicadas na maioria dos casos de reforços das estruturas, pois apresentam excelentes resistências, pequeno peso e alto teor de rigidez e principalmente grande eficácia em compressão e tração, o que exige em uma estrutura formada por concreto armado.



Figura 11 - Viga utilizando a fibra de carbono como reforço

Fonte: disponível em <http://techniques.com.br/> Acesso em: 31/10/2018

A fibra de carbono é produzida em forma de mantas, tecidos ou laminados, sendo mais utilizados e mais convencional, porque não interferem em um grande aumento das dimensões do elemento e assim não acaba interferindo em grande perda de espaço e conseqüentemente não muda drasticamente as características arquitetônicas.

A aplicação de mantas ou tecidos de fibra de carbono trabalha em conjunto com uma resina epóxica aplicada nas superfícies do concreto previamente pronto para recebê-la e de modo conseqüente obter o resultado de transferência dos esforços entre ambas.

Segundo Juvandes (2002, p.63) “o preparo para a realização de reparos com fibras de carbono é em superfície lisa”.

Essa técnica é feita com um tipo de resina a base de epóxi que prepara a superfície degradada para receber a camada de adesivo, devendo também utilizar produtos para extinguir imperfeições construtivas, irregularidades para evitar que o produto fique entre a camada da manta e a superfície.

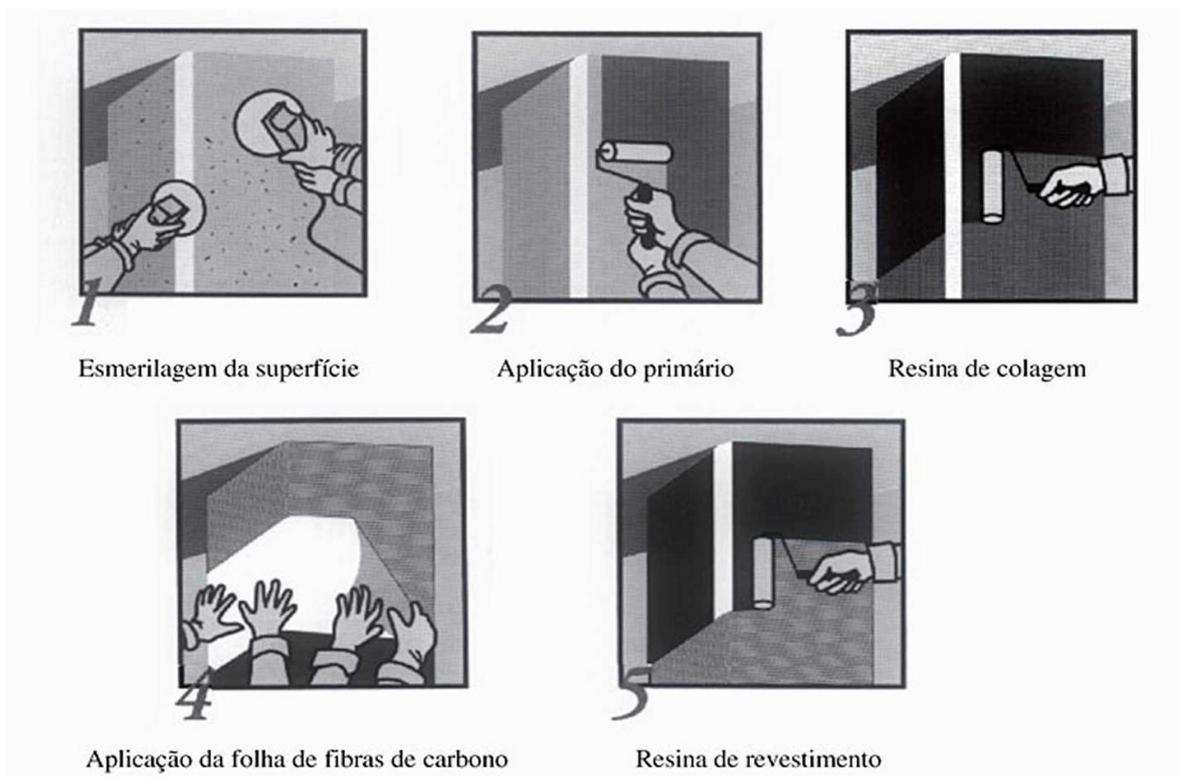


Figura 12 - Etapas da aplicação da folha de fibra de carbono

Fonte: Livro Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto, SOUZA E RIPPER (1998)

Após a união da superfície preparada, o adesivo, a camada da manta de fibra de carbono, logo em seguida aplica-se uma camada mais fina do adesivo para recobrir e proteger as fibras.

Garcez (2007, p.68) cita algumas vantagens estruturais da fibra de carbono:

- Elevada razão resistência x peso, podendo ser cinco vezes mais leves que o aço, com resistência à tração 8 a 10 vezes mais altas.
- Módulo de elasticidade e resistência à tração mais altos dentre as fibras (carbono, aramida e vidro), proporcionando boa rigidez ao reforço.
- Excelente comportamento à fadiga, fundamental em aplicações de cargas cíclicas.
- Não são afetadas por solventes, ácidos e bases, à temperatura ambiente.
- São capazes de manter seu módulo de elasticidade e resistência à tração quando submetidas a altas temperaturas, no entanto, oxidam e se degradam quando submetidas a altas temperaturas.
- São imunes à corrosão, podendo ser aplicadas em ambiente marinho sem prejudicar a durabilidade do sistema.

A resina a utilizar na colagem deverá ter a resistência e dureza adequadas para a transferência do esforço de corte entre a folha e o concreto, devendo ser, por outro lado, suficientemente elástica para prevenir a ruptura frágil nesta interface. A adesão à superfície existente, previamente impregnada com um primário (resina epoxídica muito fluida) é feita por aplicação direta da folha flexível de fibras de carbono, sendo a colagem garantida pela própria formação do elemento compósito quando da aplicação de uma fina camada de resina epoxídica, que permite fácil moldagem de conjunto às diversas formas geométricas da superfície receptora, seja a estritamente necessária à colagem, para que não haja alteração das características do compósito (quando mais resina, maior o peso e menor a resistência). SOUZA E RIPPER (1998, p.154)

Vantagens

- Alta resistência a tração
- Módulo elevado de elasticidade
- Material anti-corrosivo
- Fácil de encontrar no mercado
- Material de pequeno peso específico

Desvantagens

- Alto valor de aquisição

5.4 REFORÇO COM FIBRA DE ARAMIDA

Fibras de aramida tem seu desempenho intermediário em comparação com o carbono e o vidro, em relação a tração a aramida é um tipo de específico de fibra sintética, mais conhecida como poliamida aromática, excelente para casos que exigem alto desempenho a tração e proteção da estrutura em relação ao fogo.

Beber (2003, p.25) apud Hollaway e Leeming (1999), afirmam que, “as fibras de aramida apresentam resistências da ordem de 3000 Mpa e módulo de elasticidade variando entre 60 GPa e 120 GPa. As fibras de aramida são resistentes ao fogo e apresentam excelente desempenho sob elevadas temperaturas”.

As fibras de aramida foram introduzidas no mercado no início dos anos 70, pela companhia Du Pont. As marcas comerciais mais conhecidas atualmente são o Kevlar e o Nomex, produzidas pela Du Pont, a Technora e o Conex, produzidas pela Teijin, e a Twaron, produzida pela Akso. Garcez (2007, p.20).

A aramida tem sua principal utilização na fabricação automobilística, na parte de aeronaves e automóveis, coletes a prova de balas, mantas ou tecidos com sua alta capacidade anti-chama.

As fibras de aramida tem alto índice de durabilidade, seu alto desempenho em temperaturas elevadas justifica sua utilização, de acordo com Rocha (2000, apud

BERNARDI 2003, p.44), “quando a aramida é adicionada a uma adesivo epóxi, promove uma resistência ao calor em torno de 400°C, não sendo este valor concebível a matriz”.

A sua aplicação é feita com tecidos ou mantas e conjunto com um adesivo epóxi já apoiada ao concreto com sua superfície preparada, sua maior complicação é quando existe lugar úmido, a prazos longos isso pode acarretar problemas de dificuldade de aderência e sua durabilidade por causa que podem absorver água, inchando a fibra ela pode perder sua funcionalidade.



Figura 13 - Aplicação do tecido de aramida

Fonte: www.sp-reinforcement.pt/pt-PT/produtos/mantas-e-tecidos-para-reforco-de-estruturas/sp-sheet-120 Acesso em: 31/10/2018

Um ponto importante e positivo da fibra de aramida, é a sua estrutura mais resistente na ruptura, comparando-se com as fibras de carbono e de vidro, obtendo resultados em sua ruptura menos calamitoso, embora de modo geral as três fibras citados são classificados como frágeis.

O alto desempenho a tração e resistência a impactos, existe concretos especiais obtidos pela junção de concreto e fibra de aramida segundo Bernardi (2003, p. 51) explica sua produção de concretos especiais com incorporação de fibra de aramida tipo Kevlar a uma matriz de cimentos. Com objetivo de aumentar a potencialidade de utilizar um concreto com peso específico menor e aprimorar seu comportamento mecânico.



Figura 14 - Adição de fibra de aramida ao concreto para potencializar seu comportamento

Fonte: <http://www.canaldoengenhheiro.com/concreto-com-adicao-de-fibras/> Acesso em: 31/10/2018

Vantagens

- Alta resistência a temperaturas elevadas e ao esforço de tração
- Módulo de elasticidade superior
- Resisti a impactos
- Médio custo de compra
- Boa durabilidade

Desvantagens

- Alta capacidade de absorver água
- Ferramentas específicas para manuseio

5.5 REFORÇO COM FIBRA DE VIDRO

O seu processo de produção é feita pela fusão direta, uma produção simples, que ocorre o aquecimento da areia de quartzo, seu material base.

Conforme Callister (2004, p.62), na sua forma pura, o vidro é um material transparente, relativamente resistente, inerte biologicamente inativo, que pode ser formado muitos lisas e impenetráveis.



Figura 15 - Tecidos de fibra de vidro

Fonte: <http://www.fibertex.com.br/produto/tecidos-para-compositos-de-fibra-de-vidro-multi-axial/> Acesso em: 31/10/2018

Segundo BEBER (2003, p.24) apud HOLLAWAY e LEEMING (1999) as fibras de vidros são divididas em dois tipos, conforme sua resistência e módulo de elasticidade.

De um modo geral, as fibras de vidro podem ser divididas em dois grupos. O primeiro com módulo de elasticidade de cerca de 70 GPa e resistência variando entre 1000 e 2000 Mpa, como por exemplo as fibras do tipo E, A, C e E-CR. O segundo grupo apresenta módulo de elasticidade de cerca de 85 GPa, com resistência à tração variando entre 2000 e 3000 Mpa, como por exemplos as fibras do tipo R,S e AR.(BEBER 2003, apud HOLLAWAY e LEEMING 1999, p.25).

Suas fibras são materiais mais fracos e menos rígidos, mas em compensação é mais barato e em alguns casos de reforço estrutural mais simples é bem indicada comparando com as de fibras de carbono.

Cada tipo de fibra de vidro possui suas aplicações e suas características e o tipo mais utilizado é tipo E, por serem materiais com características isolantes utilizada em instalações elétricas, com baixo teor de álcalis, diferente do tipo A com seu alto teor de álcalis.

Fibras de vidro tipo S ou RS de modo geral é usado praticamente só na indústria espacial por serem leves, mais resistentes e rígidas em comparação ao tipo E, e conseqüentemente ela acaba se tornando inviável para a construção civil por ser um material de alto custo.

O tipo E-CR é a fibra tipo E, a única diferença está na retirada do elemento químico Boro, feito isso a fibra melhora sua resistência a corrosão causada por ácidos, o tipo C segundo Garcez (2007, p.22) foram desenvolvidas para resistir ataques químicos, principalmente frente a ácidos que podem destruir as fibras de vidro do tipo E.

De modo geral as fibras de vidro têm suas características de baixa condutividade térmica, densidade irrelevante, um módulo de elasticidade considerável e principalmente a sua maior vantagem e a sua alta resistência, mas em contrapartida a presença de umidade pode afetar drasticamente suas fibras, por causa da extração de íons pela água, formando bases que atacam as fibras afetando sua resistência, conforme (GARCEZ, 2007 p.50 apud KARBHARI, 2001).

Pode-se minimizar a presença de umidade pelo controle do ambiente.

Conforme Callister (2004, p.40) “a fibra de vidro deve ser utilizada em aplicações de temperaturas inferiores a 200°C”.

Vantagens

- Bom nível de resistência a tração
- Material de pequeno peso específico
- Boa durabilidade

Desvantagem

- Imprópria para uso em lugares úmidos

6. CONCLUSÃO

É notório o aumento dos casos de estruturas degradadas sob a ação do tempo, as quais nem sequer se aproximam de cumprir sua vida útil conforme definida na norma vigente. Dentre as possíveis causas que levam a essa degradação, podemos destacar os erros de projetos e execução e até mesmo a negligência por partes dos profissionais envolvidos na construção. Infelizmente, essas ações inadequadas expõem os usuários a sérios riscos.

Para projetar uma estrutura é necessário conhecer as normas vigentes, mas, sobretudo, é preciso praticá-las. É interessante que se tenha tempo suficiente para projetar a estrutura analisando em detalhes os possíveis erros de estruturas; bem como compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos. A análise prévia do local da edificação é de suma importância, pois as características específicas desse solo serão indicativas para determinar escolhas específicas e adequadas à necessidade estrutural da edificação. Outro fator importante é detalhar minuciosamente a estrutura em seu projeto a fim de não gerar dúvidas aos profissionais de execução. Se possível for, acompanhar o processo de execução também minimiza as chances de ocorrerem grandes equívocos.

No que tange a solução das patologias já instaladas em peças de concreto armado, é importante ressaltar que a escolha do método a ser utilizado depende da análise minuciosa de vários fatores, tais como um diagnóstico preciso das possíveis causas e as reais condições dessa estrutura; bem como os riscos que a mesma oferece à segurança dos seus usuários.

Além disso, é importante destacar que o mercado da construção civil busca por profissionais com capacidade técnica e experiência na área de reforço e recuperação estrutural; tanto para resolver problemas rotineiros nas obras; como para desenvolver perícias e avaliações jurídicas envolvendo casos de patologias ou até desmoronamento de estruturas. Assim sendo, as patologias em concreto armado abrem uma gama de possibilidade de atuação para o profissional da engenharia civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 6118 - **Projetos de estruturas de concreto - procedimento**. Brasil, 2014. p.238.

ATHENA ENGENHARIA. Disponível em:
<http://www.athena.eng.br/servicos/reforco_de_estruturas.html> acesso em 31/10/2018

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 205. 2003.

BERNARDI, S. T. **Avaliação do Comportamento de Materiais Compósitos de Matrizes Cimentícias Reforçadas com Fibra de Aramida Kevlar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 179. 2003.

CALLISTER, W.D. **Materials Science and Engineering – An Introduction. Unites States of America**; Wiley, p.820. 2004.

CANAL DO ENGENHEIRO. Disponível em:
<<http://www.canaldoengenheiro.com/concreto-com-adicao-de-fibras/>> Acesso em: 31/10/2018

CONSTRUÇÃO. Disponível em :
<<http://construcaomercado17.pini.com.br/negociosincorporacaoconstrucao/170/saiba-o-que-considerar-no-tratamento-de-patologias-em-lajes-363600-1.aspx>> Acesso em 31/10/2018.

FIBERTEX. Disponível em: <<http://www.fibertex.com.br/produto/tecidos-para-compositos-de-fibra-de-vidro-multiaxial/>> Acesso em 31/10/2018

GENOVA. Disponível em :
<https://www.construtoragenova.com.br/midia/techne_recuperacao_estrutural/> Acesso em 31/10/2018.

GARCEZ, M. R. **Alternativas para Melhoria no Desempenho de Estruturas de Concreto Armado Reforçadas pela Colagem de Polímeros Reforçados com Fibras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 267. 2007

HABITISSIMO. Disponível em : < <https://fotos.habitissimo.com.br/foto/reforco-estrutural-de-viga> > Acesso em 31/10/2018.

JEE ENGENHARIA E OBRAS. Disponível em :<<http://www.jeeengenharia.com.br/>> Acesso em: 31/10/2018

JUVANDES, L.F.P. **Reforço e Reabilitação de Estruturas: Módulo 2.** Formação Profissional – Ordem dos Engenheiros - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, p.184. 2002.

REIS, A.P.A. **Reforço de Vigas de Concreto Armado por meio de Barras de Aço Adicionais ou Chapas de Aço e Argamassa de Alto Desempenho. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)** – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 239.1998.

PINTEREST. Disponível em: <<https://www.pinterest.pt/>> Acesso em: 31/10/2018

REIS, L.S.N. **Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 114. 2001.

RIPPER, T., SOUZA V. C. M. De. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 1 Ed, São Paulo, p. 262. 1998.

S&P CLEVER. Disponível em: <www.sp-reinforcement.pt/pt-PT/produtos/mantas-e-tecidos-para-reforco-de-estruturas/sp-sheet-120> Acesso em: 31/10/2018

TECHNIQUES. Disponível em : <<http://techniques.com.br/>> Acesso em: 31/10/2018