

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LUIZ CESAR MOREIRA MARUYAMA**

**ESTUDO DE CASO: REPARO E REFORÇO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL UTILIZANDO FIBRA DE CARBONO**

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

**LUIZ CESAR MOREIRA MARUYAMA**

**ESTUDO DE CASO: REPARO E REFORÇO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL UTILIZANDO FIBRA DE CARBONO**

**Case study: repair and structural reinforcement of a residential building using  
carbono fiber**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Douglas Fukunaga Surco

**CAMPO MOURÃO**

**2023**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LUIZ CESAR MOREIRA MARUYAMA**

**ESTUDO DE CASO: REPARO E REFORÇO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL UTILIZANDO FIBRA DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Data de aprovação: 20/novembro/2023

---

Douglas Fukunaga Surco  
Doutor em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Adalberto Luiz Rodrigues de Oliveira  
Mestre em Métodos Numéricos para Engenharia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Sérgio Roberto Oberhauser Quintanilha Braga  
Mestre em Segurança aos Incêndios Urbanos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

Dedico este trabalho à minha filha, Stella. Sou muito feliz porque você existe.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a meus pais, Marcia e Eisi que me permitiram estar vivo e proporcionar as condições básicas para desempenhar os anos de estudos. Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus companheiros e companheiras de curso: Victor, Éverton, Alisson, Vinicius, Felipe, Carolina, Elaíze, Marlon, Rafael, Fernando, Paulo, Ludmila, Glauco, Silvio e Letícia pela convivência, debates, apoio moral, conselhos, oportunidades de crescimento intelectual oferecidas durante minha trajetória na universidade.

Agradeço aos meus companheiros e companheiras de vida: Amanda, Josiane, Donizete, Rodrigo, Héliide, Jéssica, Shirley, Jessilene, Pedro, David, Gabriela, Raíssa e Nathally que através dos momentos de convivência me apoiaram e contribuíram para minha autoconfiança

Ao corpo docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC), que através de sua transmissão de conhecimento me enriqueceu profissionalmente e pessoalmente a cada semestre de aulas durante todo o período de minha formação.

Agradeço ao amigo, Prof. Heron Oliveira dos Santos Lima por todos os aconselhamentos em vários âmbitos da vida de maneira sincera e fraternal.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, em especial meu irmão, João Paulo que nunca deixou de acreditar que eu seria capaz.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Devemos ser bons. Não existem esforços inúteis  
quando empregados em prol da coletividade.  
Getúlio Vargas

## RESUMO

O seguinte estudo de caso foi realizado em um edifício residencial em concreto armado localizado na cidade de São Paulo. A escolha deste local se deu por ser uma edificação de grande porte, uma vez que possui 55 apartamentos e atendendo até esse número de famílias. Além disso, embora nova, a edificação apresenta problemas patológicos relevantes, como trincas, rachaduras em vigas e esmagamento de pilar no subsolo podendo o edifício vir a ruína. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi registrar as manifestações patológicas presentes e, por meio da revisão bibliográfica, identificar as causas e as melhores soluções para o caso. Ao final do estudo, como observador participante juntamente com o engenheiro responsável pelo reparo, optou-se que a forma mais eficiente (menos invasiva e destrutiva da estrutura), econômica e ágil no reparo, foi a utilização de compósitos de fibra de carbono aplicado com resina epóxi. Após feito o reforço, foi realizado o monitoramento para observar o comportamento da estrutura reforçada mostrando-se a melhor opção de reparo.

Palavras-chave: concreto armado; patologia; reforço; fibra de carbono.

## **ABSTRACT**

This case study was conducted at the reinforced concrete residential building located in the city of São Paulo. The selection of this location was due to it being a large building, as it has 55 apartments and serving up to that number of families. Additionally, despite being a new building, it presents relevant pathological problems, such as fissures, cracks in beams and crushing of pillars underground, which could result in the building falling into ruin. Thus, the aim of this work was to record the pathological manifestations present and, through a bibliographic review, identify the causes and the best solutions for the case. At the end of the study, as a participant observer together with the engineer responsible for the repair, it was found that the most efficient way (less invasive and destructive to the structure) in terms of saving materials, time and increased resistance using carbon fiber composites applied with epoxy resin. After reinforcement, monitoring was carried out to observe the behavior of the reinforced structure.

Keywords: reinforced concrete; pathology; reinforcement; carbon fiber.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Fluxograma para a diagnose de uma estrutura convencional .....	18
Figura 2 - Limpeza por aplicação de jato de água .....	21
Figura 3 - Limpeza de superfícies por aplicação de jatos de areia .....	22
Figura 4 - Aplicação de maçarico sobre superfície de concreto .....	22
Figura 5 - Limpeza com escova de aço .....	23
Figura 6 – Apicoamento mecânico .....	23
Figura 7 – Apicoamento manual .....	24
Figura 8 - Corte de concreto – profundidade de remoção .....	25
Figura 9 - Remoção de concreto por corte .....	25
Figura 10 - Injeção de fissura .....	27
Figura 11 - Reparo de uma fissura por costura .....	28
Figura 12 - Esquema do bocal ejetor do concreto .....	29
Figura 13 – Emenda entre barras de armadura corroída e de complementação .....	30
Figura 14– Reforço em chapas metálicas, só com colagem (à esquerda) e também com chumbamento .....	31
Figura 15 – Aspecto das folhas flexíveis pré-impregnadas de fibras de carbono, em pormenor (à esquerda) e em rolo contínuo .....	32
Figura 16- Sistema de aplicação das folhas flexíveis de compósitos de fibras de carbono .....	32
Figura 17- Costura de fissuras por aplicação de protensão exterior .....	33
Figura 18- Inibição de deformação por aplicação de protensão exterior .....	34
Figura 19- Substituição de um pilar danificado, com a conseqüente redistribuição de esforços, através da aplicação de protensão exterior .....	34
Figura 20- Reforço de vigas à flexão, através da aplicação de protensão exterior .....	35
Figura 21- Criação de apoios adicionais, através da aplicação de protensão exterior .....	35
Figura 22 – Planta do pavimento térreo. ....	38
Figura 23 - Planta do 1º Subsolo.....	39
Figura 24 - Planta do 2º subsolo .....	40
Figura 25 – Corte AA.....	41
Figura 26 - Trinca a 45° em viga V26 com pilar PR3.....	41
Figura 27 - Configuração da trinca a 45° .....	42
Figura 28 - Malha tipo “U” .....	43
Figura 29 - Viga V26 reforçada (2023).....	44
Figura 30 - Trinca de 2 mm a 45°.....	45
Figura 31 - Configuração da trinca em V29.....	45
Figura 32 - Viga V29 reforçada (2023).....	47
Figura 33 - Viga V29 com fissura de 0.4 mm.....	47
Figura 34 - Configuração das fissuras em V29.....	48
Figura 35 - Malhas longitudinais.....	49
Figura 36 - Viga V29 reforçada .....	50
Figura 37 – Esmagamento do pilar PR2 no segundo subsolo .....	51
Figura 38 - Representação do esmagamento do pilar PR2 .....	52
Figura 39 - Detalhamento da fibra de carbono aplicada no pilar PR2 .....	53
Figura 40 – Pilar PR2 segundo subsolo reforçado.....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
DACOC – Departamento Acadêmico de Construção Civil  
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Comprometimento do concreto armado pela concepção estrutural</b> <b>15</b>	
<b>4.2</b>	<b>Causas da fissuração da estrutura</b> .....	<b>16</b>
4.2.1	Fissurações causadas por sobrecarga .....	16
4.2.2	Fissurações causadas por corrosão da armadura .....	16
<b>4.3</b>	<b>Diagnóstico</b> .....	<b>16</b>
<b>4.4</b>	<b>Materiais utilizados no reforço e recuperação de estruturas de</b> <b>concreto</b> .....	<b>19</b>
4.4.1	Concreto .....	19
4.4.2	Polímeros e monômeros .....	19
4.4.3	Materiais elaborados .....	19
<b>4.5</b>	<b>Técnicas usuais em serviços de recuperação e reforço de estruturas</b> <b>de concreto</b> .....	<b>19</b>
4.5.1	Intervenções em superfícies de concreto .....	19
<u>4.5.1.1</u>	<u>Polimento</u> .....	<u>19</u>
<u>4.5.1.2</u>	<u>Lavagens</u> .....	<u>20</u>
4.5.1.2.1	<i>Pela aplicação de soluções ácidas</i> .....	20
4.5.1.2.2	<i>Pela aplicação de soluções alcalinas</i> .....	20
4.5.1.2.3	<i>Com jatos de água</i> .....	20
<u>4.5.1.3</u>	<u>Limpezas especiais</u> .....	<u>21</u>
4.5.1.3.1	<i>Jatos de vapor</i> .....	21
4.5.1.3.2	<i>Jatos de areia</i> .....	21
4.5.1.3.3	<i>Jatos de limalha de aço</i> .....	22
4.5.1.3.4	<i>Queima a maçarico</i> .....	22
4.5.1.3.5	<i>Escovação Manual</i> .....	23
4.5.1.3.6	<i>Apicoamento</i> .....	23
<u>4.5.1.4</u>	<u>Saturação</u> .....	<u>24</u>
<u>4.5.1.5</u>	<u>Remoção profunda de concreto degradado (Corte)</u> .....	<u>24</u>

4.5.2	Demolição de concreto .....	25
4.5.3	Tratamento de fissuras .....	26
<u>4.5.3.1</u>	<u>Técnica de injeção de fissuras .....</u>	<u>26</u>
<u>4.5.3.2</u>	<u>Técnica de selagem de fissuras .....</u>	<u>27</u>
<u>4.5.3.3</u>	<u>Costura de fissuras (Grampeamento) .....</u>	<u>27</u>
4.5.4	Furação do concreto para ancoragem de barras de armadura .....	28
4.5.5	Reparos em elementos estruturais .....	28
<u>4.5.5.1</u>	<u>Reparos com argamassa .....</u>	<u>28</u>
<u>4.5.5.2</u>	<u>Reparos com concreto .....</u>	<u>29</u>
<i>4.5.5.2.1</i>	<i>Reparos com concreto projetado.....</i>	<i>29</i>
<i>4.5.5.2.2</i>	<i>Reparos com grout.....</i>	<i>30</i>
4.5.6	Trabalhos de reforço .....	30
<u>4.5.6.1</u>	<u>Armadura de complementação ou de reforço .....</u>	<u>30</u>
<u>4.5.6.2</u>	<u>Adição de chapas e perfis metálicos .....</u>	<u>30</u>
<u>4.5.6.3</u>	<u>Utilização de folhas flexíveis de carbono pré-impregnadas.....</u>	<u>31</u>
<u>4.5.6.4</u>	<u>Protensão exterior .....</u>	<u>33</u>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>Observação das manifestações patológicas .....</b>	<b>37</b>
6.1.1	Patologia 1 .....	41
<u>6.1.1.1</u>	<u>Causa da patologia 1.....</u>	<u>42</u>
<u>6.1.1.2</u>	<u>Recuperação da patologia 1.....</u>	<u>42</u>
6.1.2	Patologia 2 .....	44
<u>6.1.2.1</u>	<u>Causa da patologia 2.....</u>	<u>45</u>
<u>6.1.2.2</u>	<u>Recuperação da patologia 2.....</u>	<u>46</u>
6.1.3	Patologia 3 .....	47
<u>6.1.3.1</u>	<u>Causa da patologia 3.....</u>	<u>48</u>
<u>6.1.3.2</u>	<u>Recuperação da patologia 3.....</u>	<u>48</u>
6.1.4	Patologia 4 .....	50
<u>6.1.4.1</u>	<u>Causa da patologia 4.....</u>	<u>51</u>
<u>6.1.4.2</u>	<u>Reforço da patologia 4 .....</u>	<u>52</u>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto está presente nas atividades construtivas humanas desde a antiguidade. Os construtores antigos usavam misturas de barro, cal e agregados petrificados na obtenção de materiais que influenciaram a origem do concreto armado empregado em edificações nos dias de hoje. Atualmente, o concreto é o segundo material mais usado na humanidade, ficando atrás somente da água. Isso se dá pelo motivo de esse aglomerado de areia, cimento, brita e água possuir propriedades como plasticidade, resistência e durabilidade satisfatórias frente a outros materiais além de ser de fácil modelagem no ambiente de obra. Entretanto, uma estrutura de concreto armado exposta nas mais variadas condições ambientais ou executada de maneira imprópria, com o passar do tempo sofrerá trincas e desgastes das mais variadas formas e mesmo possuindo muitas qualidades já citadas, se não projetado de maneira racional e não passar por manutenção adequada e periódica, poderá deixar de cumprir sua função a qual foi projetada.

Segundo Thomaz (1989, p. 15),

“as conjunturas sócio econômicas de países em desenvolvimento, como o Brasil, fizeram com que as obras fossem sendo conduzidas com velocidades cada vez maiores, com poucos rigores nos controles dos materiais e serviços”.

Castro (2016, p. 13) atenta à falta de normas técnicas em detrimento a exigência de laudos e alvarás por parte de prefeituras. Ele afirma que

“a ausência de norma técnica definida sobre a periodicidade de inspeção na estrutura de concreto em edificações e a exigência da PMSP sobre a emissão do laudo técnico de segurança (LTS), para emissão do alvará de funcionamento de local de reunião exigido segundo Lei 11.228/92 e Decreto 32.329/92, apenas transfere a responsabilidade da prefeitura para engenheiros e arquitetos.”

Sendo assim este trabalho abrange a contribuição para uma futura norma relacionada a uma periodicidade de inspeção e manutenção de estruturas de concreto armado. Na ausência dessa, somente ocorrerá alto custo de reparação a longo prazo.

Tais sistemas de manutenção e reparo serão discutidos e embasados em revisão bibliográfica exposto no capítulo 4 deste trabalho.

## **2 OBJETIVOS**

Adiante serão apresentados os objetivos geral e específico a fim de nortear as prestações deste trabalho.

### **2.1 Objetivo Geral**

Através de estudo de caso, investigar os diversos sinais de patologia existentes em vigas e pilares de concreto armado no edifício localizado na cidade de São Paulo a fim de propor soluções de reparo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

-Identificar e listar as diferentes manifestações patológicas que surgiram na estrutura de concreto no edifício estudado.

-Avaliar o nível e velocidade de comprometimento da estrutura a partir da patologia analisada.

-Apresentar os métodos de recuperação, reparo ou manutenção da estrutura.

-Apresentar, de maneira a contribuir com a comunidade acadêmica os métodos de recuperação e reparo a fim de incentivar a prevenção de surgimentos de quadros patológicos em uma estrutura de concreto armado.

### 3. JUSTIFICATIVA

Todo o processo de desenvolvimento desta pesquisa tem como importância justificada pelo fato de ser uma estrutura de grande porte residencial. A continuidade da vida útil da estrutura do edifício estudado dependeu de toda a análise, reparo e reforço que será discorrido neste trabalho.

Podem ocorrer na sociedade casos de construções de médio ou grande porte não terem um plano de manutenção adequado podendo ocorrer a manifestação de patologias. Ademais, segundo Souza (1998) além de existirem sérias limitações em relação ao desenvolvimento tecnológico, inúmeras falhas involuntárias e casos de imperícia, existem também casos de confronto com a finalidade que o edifício propõe.

Este trabalho se justifica também como um aprimoramento de técnicas relacionada a padronização de reparos construtivos e ou reforço em tempo pré-determinado para haver excelência no cumprimento das funções realizadas por tais estruturas, além de incentivar uma visão sistêmica e pragmática sobre problemas estruturais existentes em edificações e fornecer embasamento para poder medir e selecionar o método necessário para cada realidade.

Obtendo um documento técnico de cada manifestação patológica observada com nitidez com suas origens e os sintomas, poder-se-á chegar a uma solução adequada e definitiva, podendo assim reduzir custos e diminuir o transtorno causado por correções futuras.

O trabalho aqui apresentado é um projeto destinado à comunidade acadêmica, a fim de estudar e apresentar os problemas patológicos no edifício com estrutura de concreto armado estudado com reparos de forma definitiva para os problemas patológicos localizados. Por isso faz-se necessário a elaboração de um relatório técnico com as soluções apresentadas pela empresa responsável pela recuperação e reforço a fim de contribuir com soluções viáveis e detalhamentos construtivos, para orientar na execução dos reparos em definitivo.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Machado (2002), para que o levantamento e análise das patologias estudadas no edifício estudado seja completo devem ser abordados e convenientemente esclarecidos os seguintes fatores pertinentes aos problemas encontrados:

- As manifestações patológicas;
- Os vícios construtivos;
- As origens dos problemas;
- Os agentes causadores dos problemas;
- O prognóstico para a terapia.

### 4.1 Comprometimento do concreto armado pela concepção estrutural

De acordo com Souza (1998), as possíveis falhas que podem ocorrer durante a execução do projeto final de uma obra são a razão de parte dos problemas patológicos, as quais podem ser graves e diversos, tais como: (as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia geralmente são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios e podem ser tão diversas como)

- a) Projeto mal elaborado: não verificar as ações atuantes dos elementos, escolhas desfavoráveis das combinações de materiais, erros de cálculos e analíticos das estruturas, solo, intempéries etc.; má utilização das ações atuantes ou da combinação mais desfavorável das mesmas, escolha infeliz do modelo analítico, deficiência no cálculo da estrutura ou na avaliação da resistência do solo, etc.;
- b) Falta de compatibilização entre todos os projetos da obra (estrutural, arquitetônica, instalações hidro sanitárias, instalações elétricas, paisagismo etc.) a estrutura e a arquitetura, bem como os demais projetos civis;
- c) Especificação inadequada dos materiais;
- d) Detalhamento insuficiente ou errado;
- e) Detalhes construtivos inexecutáveis;
- f) Falta de padronização das representações (convenções);
- g) Erros de dimensionamento;



## **4.2 Causas da fissuração da estrutura**

### **4.2.1 Fissurações causadas por sobrecarga**

Thomaz (1989) discorre acerca da fissuração causada por cargas não previstas na concepção estrutural. Essas cargas atuam em elementos estruturais e também podem ocorrer em componentes não estruturais, por exemplo em lajes e paredes.

### **4.2.2 Fissurações causadas por corrosão da armadura**

Conforme Helene (1986) a corrosão do aço pode ocorrer por oxidação e corrosão propriamente dita da armadura. A corrosão por oxidação ocorre devido ao ataque provocado por uma reação do metal com um gás-metal. Esse tipo de corrosão é lento. A corrosão propriamente dita ocorre predominantemente por reações eletroquímicas que ocorrem em meio aquoso. Uma película de eletrólito é formada resultante da humidade sobre a superfície dos fios ou barras de aço. Ele continua dizendo que essa é a forma de corrosão que mais deve preocupar o engenheiro civil. É melhor e mais simples preveni-la ao saná-la depois de iniciado o processo.

## **4.3 Diagnóstico**

O diagnóstico está relacionado à observação e análise da estrutura com a finalidade de determinar a necessidade de manutenção ou reparo da estrutura.

Souza (1998) afirma que as medidas que se devem adotar diante de um quadro patológico em avaliação são as observações da importância da estrutura em fatores de resistência e durabilidade e em alguns casos particulares a agressividade ambiental. E a metodologia genérica para a vistoria de estrutura usuais são divididas em três passos: levantamento de dados, análise e diagnóstico.

O primeiro passo relacionado ao levantamento de dados é um passo de suma importância e se faz necessário ser feito por um engenheiro experiente da área de patologia das estruturas e que seja apto para diagnosticar com máximo rigor a carência de ou não de adoção de medidas especiais (SOUZA 1998).

O levantamento de dados compreende uma sequência de passos:

- a) Classificação do meio ambiente no que tange a agressividade ambiental;

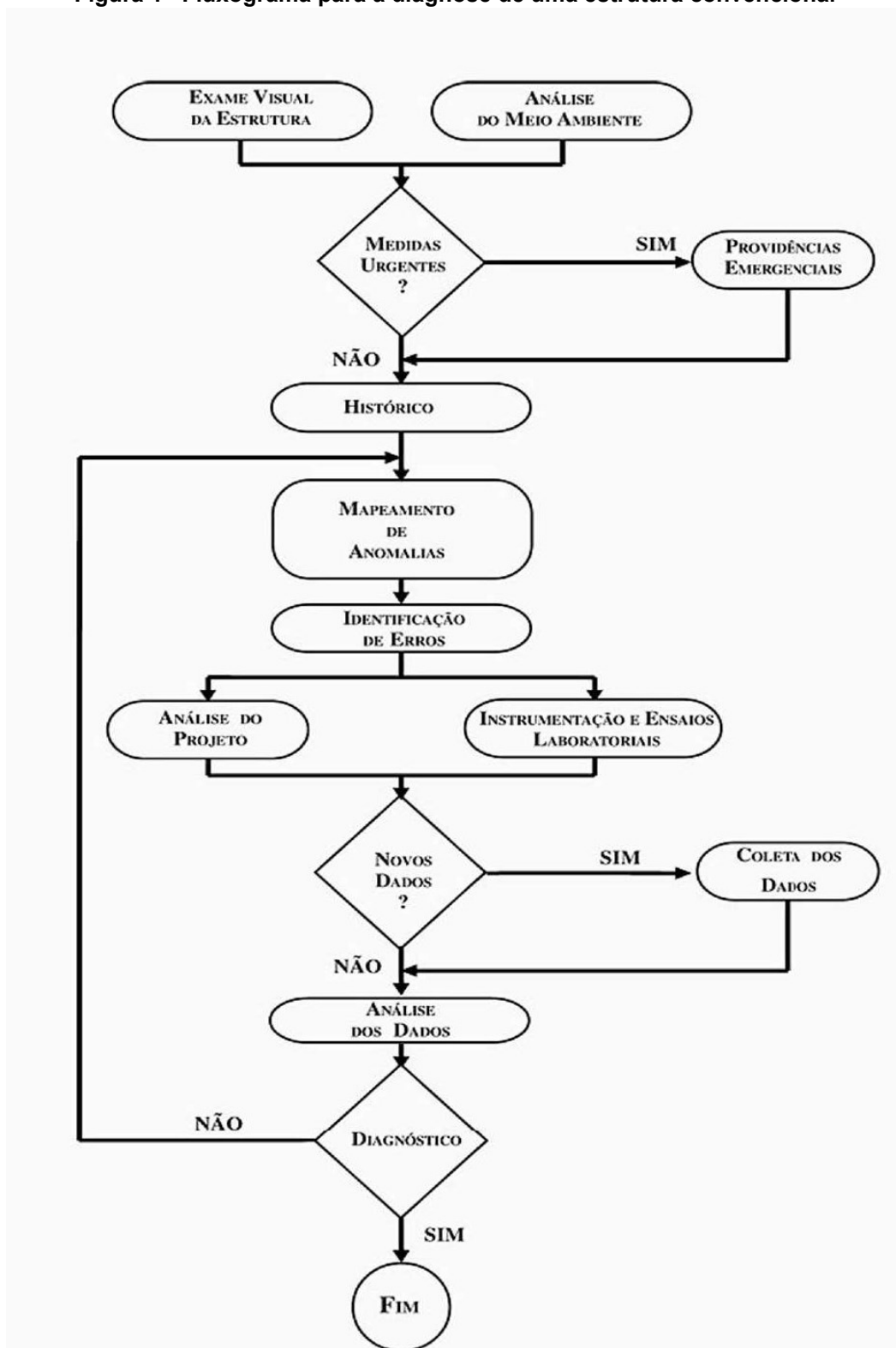
- b) Levantamento visual e medições expeditas das estruturas;
- c) Estimativa das consequências dos danos e, se necessário, adotar medidas emergenciais como o escoramento da estrutura, a retirada de um carregamento ou instalação de instrumentos de medição de deslocamentos para deformações ou recalque;
- d) Levantamento de sintomas patológicos, com documentação fotográfica, medidas de deformações, avaliação de presença de agentes agressores como cloretos, ocorrência de carbonatação, dimensões de trincas e fissuras, medidas de perda de seção em barras de aço, etc.;
- e) Identificação de erros quanto a concepção estrutural;
- f) Análise do projeto original e de projetos de ampliação ou modificações, caso existam, de forma a poder determinar as possíveis deficiências na concepção ou dimensionamento dos elementos estruturais danificados;
- g) Instrumentar a estrutura e realizar ensaios especiais, mesmo em laboratório, compreendendo:
  - Tipo e intensidade dos sistemas de deterioração e dos agentes agressores
  - Medições: geometria, nível, prumo e excentricidades; mapeamento das fissuras; determinação de flechas residuais; evolução da abertura de fissuras e de deformações;
  - Estudos e ensaios: verificação dimensional dos elementos; verificação geotécnica; avaliação da resistência do concreto e das características do aço;

A análise de dados sendo a segunda etapa é feita seguindo o analista, um perfeito entendimento do comportamento da estrutura e como surgiram e desenvolveram os sintomas patológicos (SOUZA 1998).

De acordo com Souza (1998) a última etapa do processo só ocorrerá após a conclusão das duas etapas anteriores (levantamento e análise). Muitas vezes

ocorre ter que voltar à primeira etapa, visto que só após algumas tentativas de diagnóstico poderemos conseguir saber da necessidade de coleta e análise de novos elementos.

Figura 1– Fluxograma para a diagnose de uma estrutura convencional



Fonte: Souza (1998)

## **4.4 Materiais utilizados no reforço e recuperação de estruturas de concreto**

### 4.4.1 Concreto

Os materiais constituintes dos concretos e argamassas de acordo com Souza (1998):

- a) Cimentos
- b) Agregados graúdos
- c) Agregados miúdos
- d) Água
- e) Aditivos

### 4.4.2 Polímeros e monômeros

De acordo com Souza (1998) os polímeros e os monômeros são utilizados na fabricação de concretos usuais, em adição ao cimento e ao próprio concreto, mesmo durante a mistura ou também posteriormente. Em caso de trabalhos de recuperação, os monômeros são adicionados na composição de ligantes estruturais e em produtos protetores das barras das armaduras.

### 4.4.3 Materiais elaborados

Os materiais elaborados são os que necessitam ser preparados no local da obra, antes de sua utilização, através da mistura de dois ou mais materiais simples ou elaborados, como, por exemplo, os que tem como base de sua confecção o cimento (material simples), denominados matérias cimentícios, os que tem como base o concreto (material elaborado) ou cimentos e polímeros, os de concreto com monossílica e os de concretos com fibras (SOUZA 1998).

## **4.5 Técnicas usuais em serviços de recuperação e reforço de estruturas de concreto**

### 4.5.1 Intervenções em superfícies de concreto

#### 4.5.1.1 Polimento

A técnica de polimento é frequentemente utilizada em patologias em que a superfície do concreto se encontra de maneira inaceitável áspera, seja em decorrência de inconformidades executivas resultante de dosagens equivocadas do concreto, utilização de fôrmas brutas ou ásperas (em concreto aparente), falta de

vibração adequada, etc.; seja como resultado de desgaste pelo próprio uso (SOUZA 1998).

#### 4.5.1.2 Lavagens

Anteriormente à execução do reforço se faz necessário a remoção das impurezas da superfície na qual será efetuado o reforço.

##### *4.5.1.2.1 Pela aplicação de soluções ácidas*

A solução ácida usada nas lavagens de estruturas de concreto armado tem por objetivo a remoção de tintas, ferrugens, graxas, carbonatos, e manchas de cimento, o que não pode ser garantido apenas com lavagem com água (SOUZA 1998).

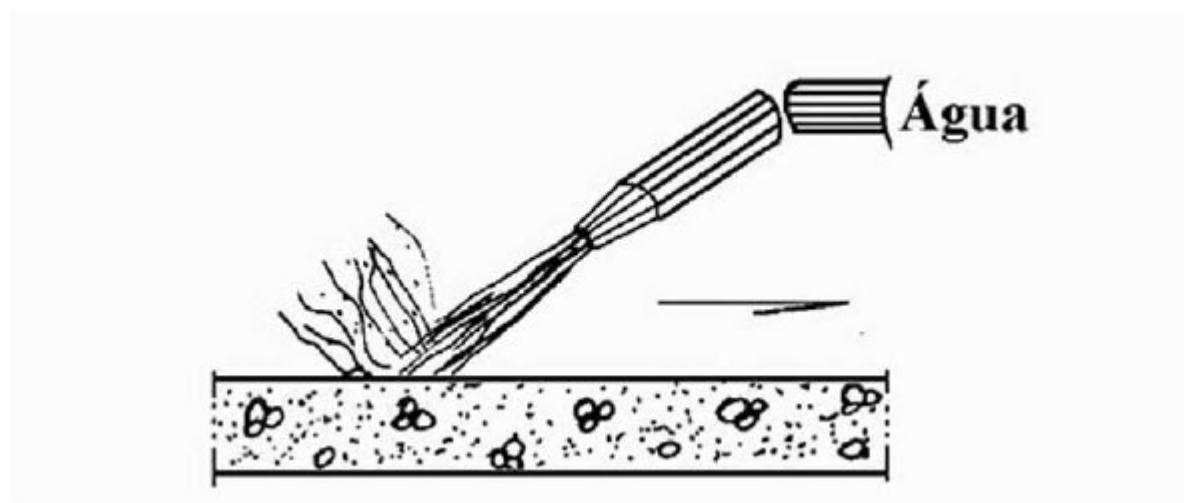
##### *4.5.1.2.2 Pela aplicação de soluções alcalinas*

O propósito de uso das soluções alcalinas é muito semelhante com o das soluções ácidas, apenas que com cuidados diferentes, próprios do agente (SOUZA 1998).

##### *4.5.1.2.3 Com jatos de água*

Segundo Souza (1998) o uso de jatos de água sob pressão controlada é amplamente utilizado como técnica de limpeza e preparação do concreto para a futura recepção do material de reparação. É comum o jateamento de água fria juntamente com areia; entretanto em determinadas situações como de uma determinada superfície apresentar característica gordurosa ou com manchas de forte impregnação química recorre-se a jatos de água quente, normalmente adicionando-se removedores biodegradáveis.

**Figura 2 - Limpeza por aplicação de jato de água**



**Fonte: Souza (1998)**

#### 4.5.1.3 Limpezas especiais

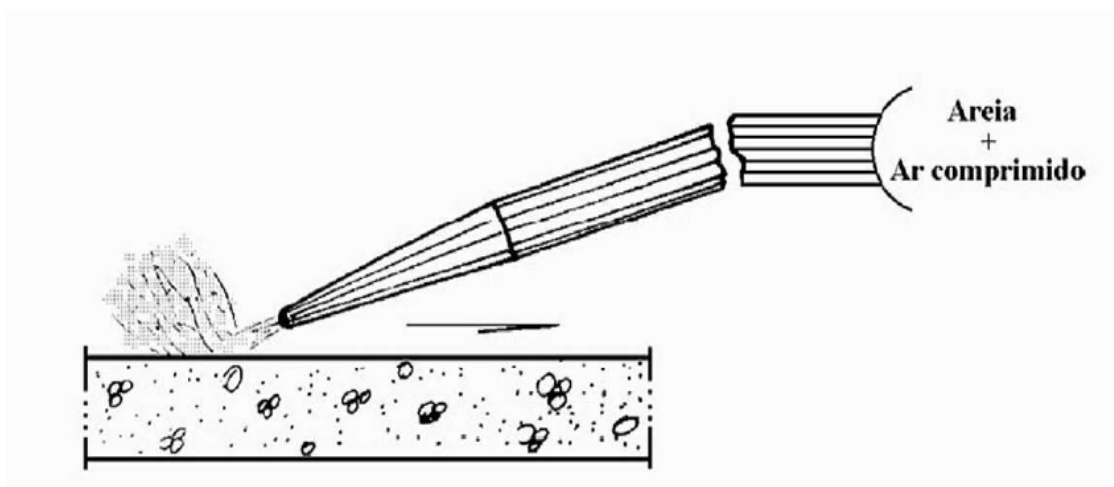
##### *4.5.1.3.1 Jatos de vapor*

A limpeza por aplicação de jatos de vapor é utilizada na preparação de grandes superfícies, na quais se deseja remover impurezas minerais (sais) e orgânicas (graxas, óleos, tintas, pós), não sendo aplicável de a contaminação oferecer resistência (como a corrosão de armaduras por exemplo), devendo, nesse caso, o vapor ser jateado em conjunto com um removedor biodegradável (SOUZA 1998).

##### *4.5.1.3.2 Jatos de areia*

A limpeza das superfícies pela aplicação de jatos de areia sob pressão controlada, sem ou com a presença de água (ver parágrafo 4.5.1.2.3) pode ser considerada como a principal tarefa na preparação das superfícies para a recepção dos materiais de recuperação, sendo normalmente utilizada na maioria dos sistemas de recuperação imediatamente após os trabalhos de corte ou apicoamento do concreto (SOUZA 1998).

**Figura 3 - Limpeza de superfícies por aplicação de jatos de areia**



Fonte: Souza (1998)

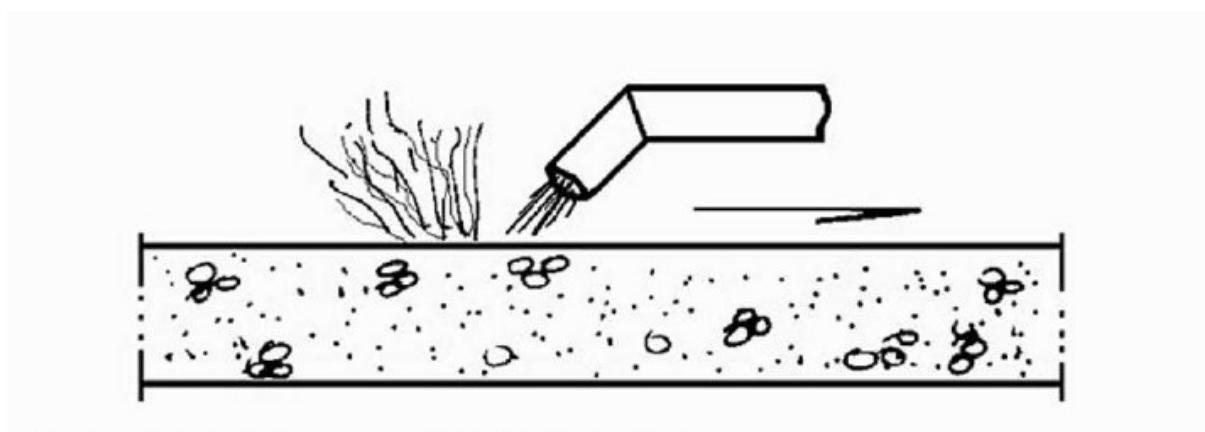
#### 4.5.1.3.3 Jatos de limalha de aço

Aplicado sob pressão, o jato de limalha de aço é uma alternativa viável, em alguns casos, ao jato de areia. É menos poluente, mas mais abrasivo, não pode ser aplicado em casos em que a armadura esteja exposta, já corroída e com pequenos diâmetros (SOUZA 1998).

#### 4.5.1.3.4 Queima a maçarico

Por requerer muito cuidado, é um tipo muito particular de limpeza. Destina-se a remover sujeiras como graxas e óleos. Sua utilização implica nos casos de superfícies ligeiramente esfoliadas, pois essa técnica induz a desagregação de uma camada de concreto de até 5 mm de espessura (SOUZA 1998).

**Figura 4 - Aplicação de maçarico sobre superfície de concreto**

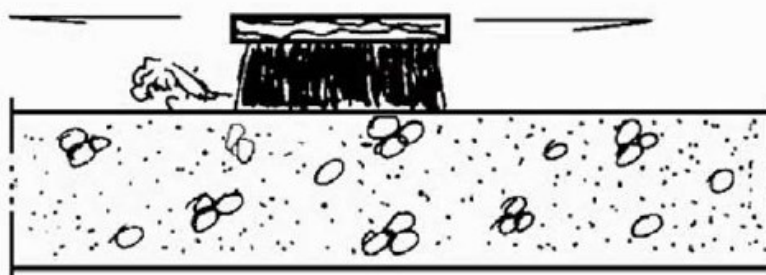


Fonte: Souza (1998)

#### 4.5.1.3.5 Escovação Manual

Está relacionada a uma técnica a ser aplicada em pequenas superfícies e, muito particularmente no caso de pequenas dimensões de barras de aço que estejam evidentemente corroídas ou simplesmente necessitam de limpeza para implemento de capacidades aderentes (SOUZA 1998).

Figura 5 - Limpeza com escova de aço

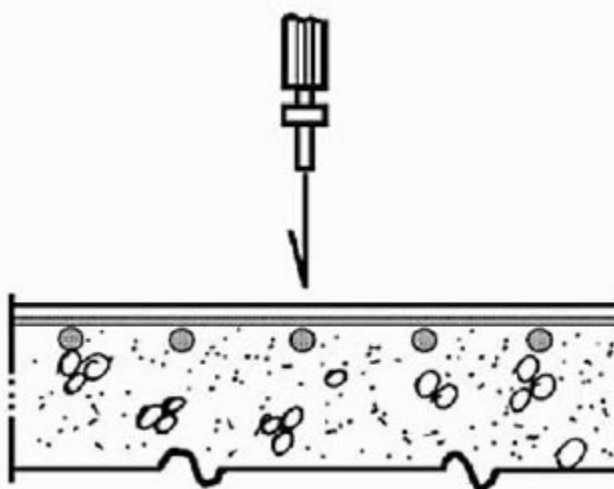


Fonte: Souza (1998)

#### 4.5.1.3.6 Apicoamento

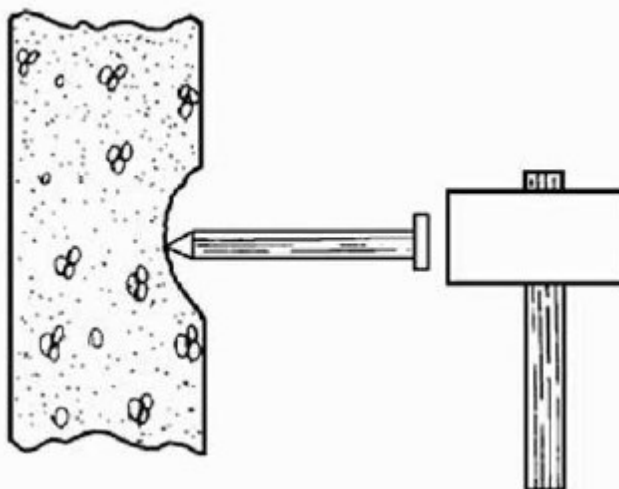
Entende-se por apicoamento o ato de retirar a camada mais externa do concreto das peças estruturais, usualmente com a finalidade de potencializá-las para complementação com uma camada adicional de revestimento, em concreto ou argamassa, para aumento da espessura de cobertura das armaduras. Dessa forma, as espessuras de apicoamento são, em geral, de até 10 mm (SOUZA 1998).

Figura 6 – Apicoamento mecânico



Fonte: Souza (1998)



**Figura 7 – Apicoamento manual**

Fonte: Souza (1998)

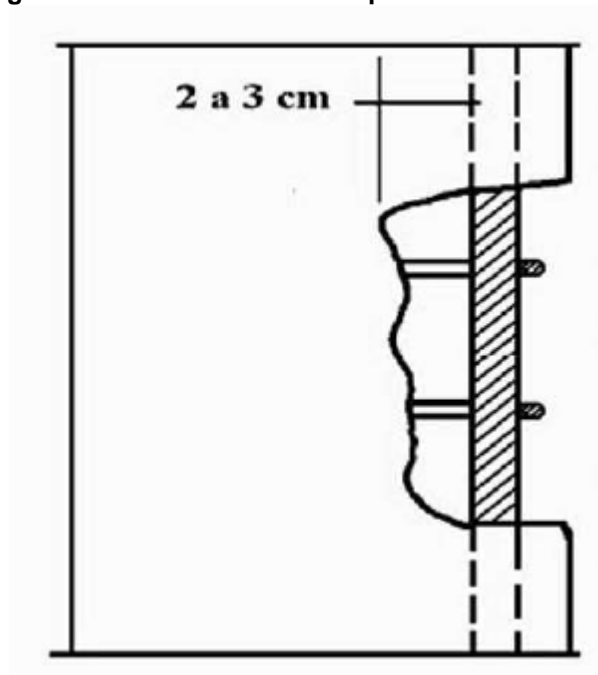
#### 4.5.1.4 Saturação

Se trata de um processo exclusivamente preparatório de superfícies e que visa uma melhor aderência das mesmas aos concretos ou às argamassas de base cimentícia que sobre elas serão aplicadas, como materiais complementares para restabelecimento ou alteração da geometria original das peças de concreto (SOUZA 1998).

#### 4.5.1.5 Remoção profunda de concreto degradado (Corte)

A definição de corte de maneira mais precisa pode ser a remoção em profundidade do concreto degradado. A finalidade dessa tarefa é a eliminação de todo e qualquer processo nocivo à boa saúde das armaduras. Dessa forma, o corte de concreto se justifica sempre que houver a corrosão das armaduras, já implantada ou com possibilidades de ocorrência e deve garantir não só a remoção do concreto segregado, mas também a futura imersão das barras em meio alcalino. Para tanto, o corte deverá ir além das armaduras, em profundidade, pelo menos 2 cm ou o diâmetro das barras da armadura, devendo-se atender à mais desfavorável das situações (SOUZA, 1998).

Figura 8 - Corte de concreto – profundidade de remoção



Fonte: Souza (1998)

Figura 9 - Remoção de concreto por corte



Fonte: Souza (1998)

#### 4.5.2 Demolição de concreto

Em alguns casos uma reforma de recuperação ou reforço exige que parte da estrutura, ou toda ela, seja demolida, em geral pela falta de capacidade de

reaproveitamento, ou, por outro lado, ainda que esteja sã, por não estar integrada num futuro processo de reconstrução ou e melhoramento (SOUZA 1998).

A demolição mais tradicional é a executada por martelos demolidores pesados, normalmente pneumáticos, pode ser comum caos em que atuem diversos martelos trabalhando em conjunto, recebendo ar de um único compressor, que para tanto deve ser devidamente dimensionado. Um martelo pneumático de 20 kg pode transferir uma força da ordem de 3000 kN, e, nestas condições, as primeiras fissuras, em concretos de até 40 Mpa, ocorrem em 10 segundos (SOUZA 1998).

#### 4.5.3 Tratamento de fissuras

##### 4.5.3.1 Técnica de injeção de fissuras

De acordo com Souza (1998) devem ser injetadas as fissuras com abertura superior a 0.1 mm, esse procedimento deve ser feito sempre em baixa pressão ( $\leq 0.1$  MPa), exceto em fissuras com aberturas maiores que 3,0 mm e não muito profundas, quando é admissível o enchimento por gravidade.

Compreende-se por injeção a técnica que proporciona o perfeito enchimento do espaço entre as bordas de uma fissura, independentemente de se estar injetando para restabelecer a uniformidade de fendas passivas, casos em que são usados materiais rígidos, como epóxi ou *grouts*, ou para a vedação de fendas ativas que são situações mais raras, em que se estarão a injetar resinas acrílicas ou poliuretanas (SOUZA 1998).

**Figura 10 - Injeção de fissura**

Fonte: Souza (1998)

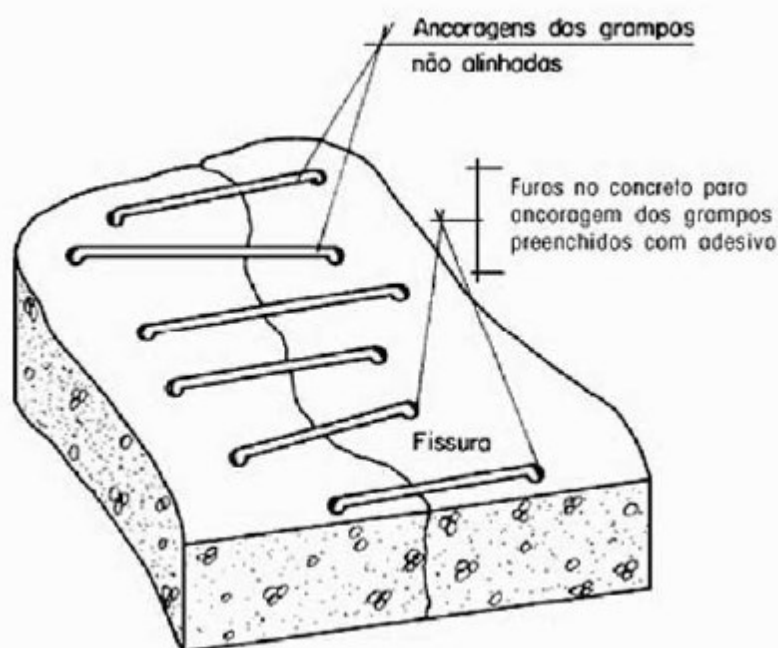
#### 4.5.3.2 Técnica de selagem de fissuras

A selagem é a técnica de vedação dos bordos das fissuras ativas pela utilização de um material necessariamente aderente, resistente mecânica e quimicamente, não retrátil e com módulo de elasticidade suficiente para adaptar-se à deformação da fenda (SOUZA, 1998).

#### 4.5.3.3 Costura de fissuras (Grampeamento)

De acordo com Souza (1998) nos casos de fissuras ativas e que o desenvolvimento delas acontece segundo linhas isoladas e por deficiências localizadas de capacidade resistente, poderá vir a ser conveniente a disposição de armadura adicional, de forma a resistir ao esforço de tração extra que provocou a fendilhação. Em função do seu aspecto e de seu propósito, estas armaduras são chamadas grampos, sendo este o processo de costura das fendas.

Figura 11 - Reparo de uma fissura por costura



Fonte: Souza (1998)

#### 4.5.4 Furação do concreto para ancoragem de barras de armadura

Em situações de amarração de barras de armadura a compressão, principalmente no reforço de pilares, por chumbamento de novas barras à sapata ou ao bloco existente, o produto poderá ser o *grout*, com ou sem carga, desde que o diâmetro do furo seja pelo menos o dobro do da barra, com folga mínima, no raio, de 1 cm. Caso contrário, deverá ser utilizada a resina epoxídica, como no caso da flexão (SOUZA 1998).

Normalmente, na ancoragem de barras à flexão não é possível fazer-se furos de grande diâmetro, devendo então o enchimento ser feito com resina epoxídica, sem nenhuma carga. É possível, dependendo do caso, proceder-se ao enchimento por gravidade, sendo então necessário executar os furos ligeiramente inclinados (SOUZA 1998).

#### 4.5.5 Reparos em elementos estruturais

##### 4.5.5.1 Reparos com argamassa

De acordo com Souza (1998), a técnica pode, a priori, ser utilizada para reparos superficiais do concreto de até 5 centímetros, mas mantendo uma relação com a área a ser reparada; por exemplo, para uma área de 10 cm<sup>2</sup>, pode-se avançar

até 5 cm de profundidade, mas para uma área de 1 m<sup>2</sup>, apenas 2,5 cm de profundidade.

#### 4.5.5.2 Reparos com concreto

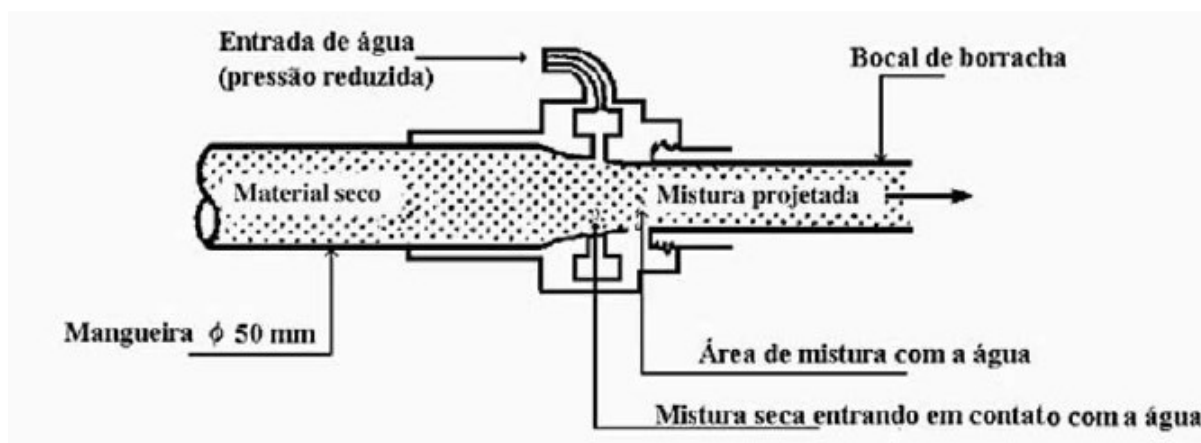
De acordo Souza (1998), esta técnica consiste em:

- a) Preenchimento prévio das formas (ou cavidade) com agregado graúdo, que deve ser devidamente compactado;
- b) Umedecimento do agregado, ou mesmo inunda-se a cavidade a ser reparada com água;
- c) Injeção sob pressão da argamassa fluida de cimento, pozolana e ar

##### *4.5.5.2.1 Reparos com concreto projetado*

Segundo Souza (1998), essa técnica se trata da condução do concreto reparador em alta velocidade (acima de 120 m/s). Com essa velocidade, através de sua força é comprimido o material ao encontrar a superfície de base, isso o mantém auto aderido. Essa técnica pode ser uma alternativa à concretagem convencional, se trata de uma alternativa ampla para qualquer tipo de trabalho, e com vantagens, especialmente em serviços de recuperação e reforço de estruturas de grande extensão.

**Figura 12 - Esquema do bocal ejetor do concreto**



Fonte: Souza (1998)

#### 4.5.5.2.2 Reparos com grout

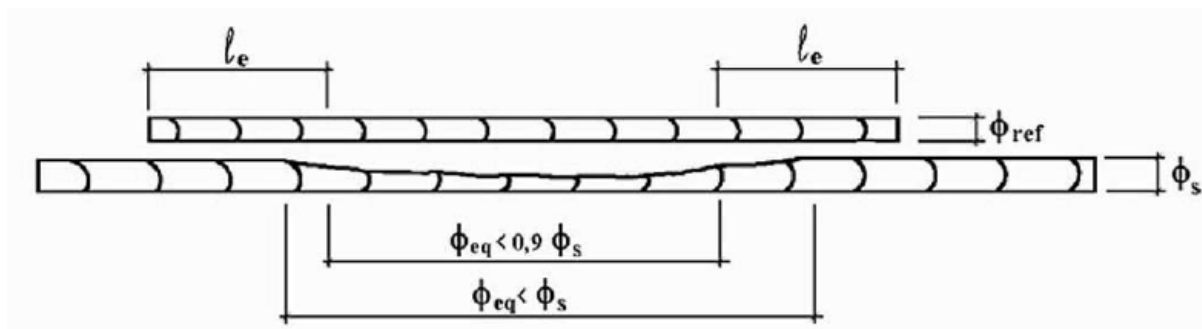
De acordo com Souza (1998) o *grout* pode ser a base de epóxi ou mineral; é uma argamassa de grande fluidez, alta resistência, não apresenta retração, é auto adensável e deve ser utilizado para reparos profundos ou semi-profundos. A superfície de aplicação do *grout* deve ser previamente umedecida. O *grout* atinge altas resistências rapidamente, por essa razão as formas podem ser sempre retiradas em 24 horas e o excesso de *grout* pode ser retirado com adesivo epóxi. A cura deve ser úmida, por pelo menos 3 dias.

#### 4.5.6 Trabalhos de reforço

##### 4.5.6.1 Armadura de complementação ou de reforço

Souza (1998) afirma que é frequente situações em que, em meio a serviços de recuperação ou de reforço em estruturas de concreto, há necessidade de aumento do número de barras existentes, seja como reforço, casos em que se pretenderá adequar ou ampliar a capacidade resistente 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.

**Figura 13 – Emenda entre barras de armadura corroída e de complementação**



**Fonte: Souza (1998)**

##### 4.5.6.2 Adição de chapas e perfis metálicos

Conforme Souza (1998), em casos que é preciso majorar a capacidade resistente, uma opção bastante eficaz e de veloz execução, recomendada principalmente para situações que requerem emergência ou não permitem grandes alterações na geometria dos elementos, é a do reforço exterior por colagem, ou

chumbamento de chapas metálicas ou por chumbamento de perfis, com ajuda de resinas injetadas.

**Figura 14– Reforço em chapas metálicas, só com colagem (à esquerda) e também com chumbamento**



Fonte: Souza (1998)

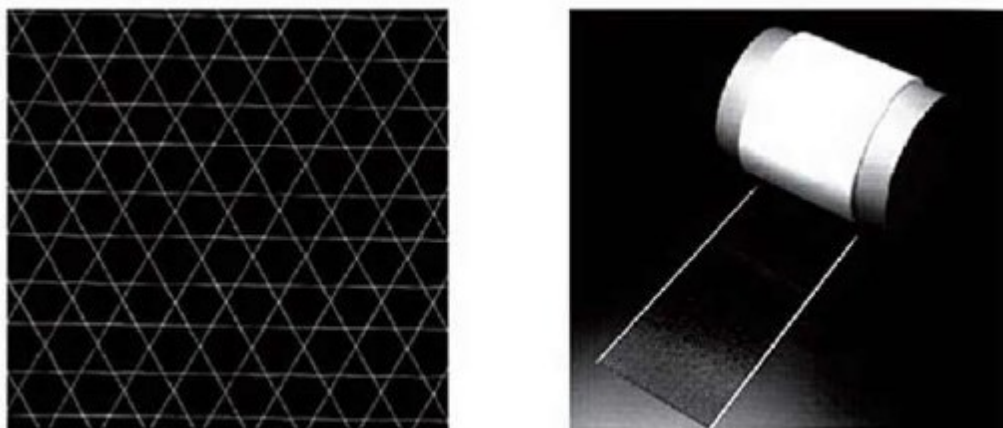
#### 4.5.6.3 Utilização de folhas flexíveis de carbono pré-impregnadas

De acordo com Souza (1998) as fibras de carbono são resultadas de carbonização de fibras de polímeros orgânicos, sendo suas características mecânicas diretamente dependentes da estrutura molecular obtida. Para a utilização como elemento estrutural é de costume utilizar mais frequentemente com compósitos de fibras de carbono de elevada resistência à tração e com módulo de elasticidade semelhante ao do aço de construção.

A forma comercial mais empregada para aumento da ductilidade e/ou da resistência das estruturas de concreto são as folhas flexíveis pré-impregnadas, sistema em que os feixes de filamentos de fibras de carbono são agrupados de forma contínua e aderidos a uma folha de suporte impregnada com quantidades muito pequenas de resina epoxídica, assumindo espessuras da ordem de décimos de milímetro. O elemento compósito é formado quando da adição da resina de colagem, criando uma matriz altamente resistente (SOUZA 1998).

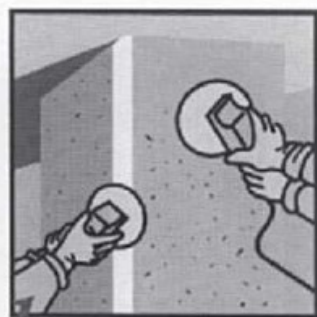


Figura 15 – Aspecto das folhas flexíveis pré-impregnadas de fibras de carbono, em pormenor (à esquerda) e em rolo contínuo



Fonte: Souza (1998)

Figura 16- Sistema de aplicação das folhas flexíveis de compósitos de fibras de carbono



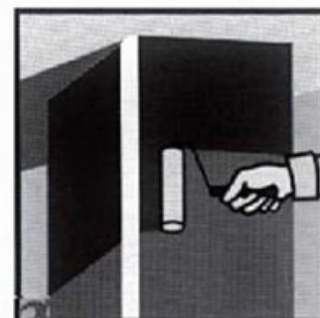
1

Esmerilagem da superfície



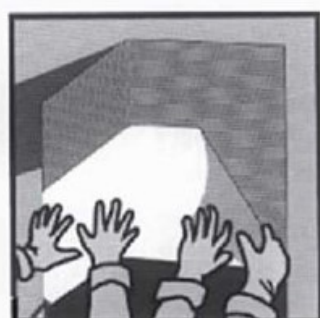
2

Aplicação do primário



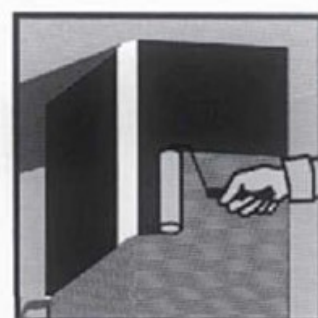
3

Resina de colagem



4

Aplicação da folha de fibras de carbono



5

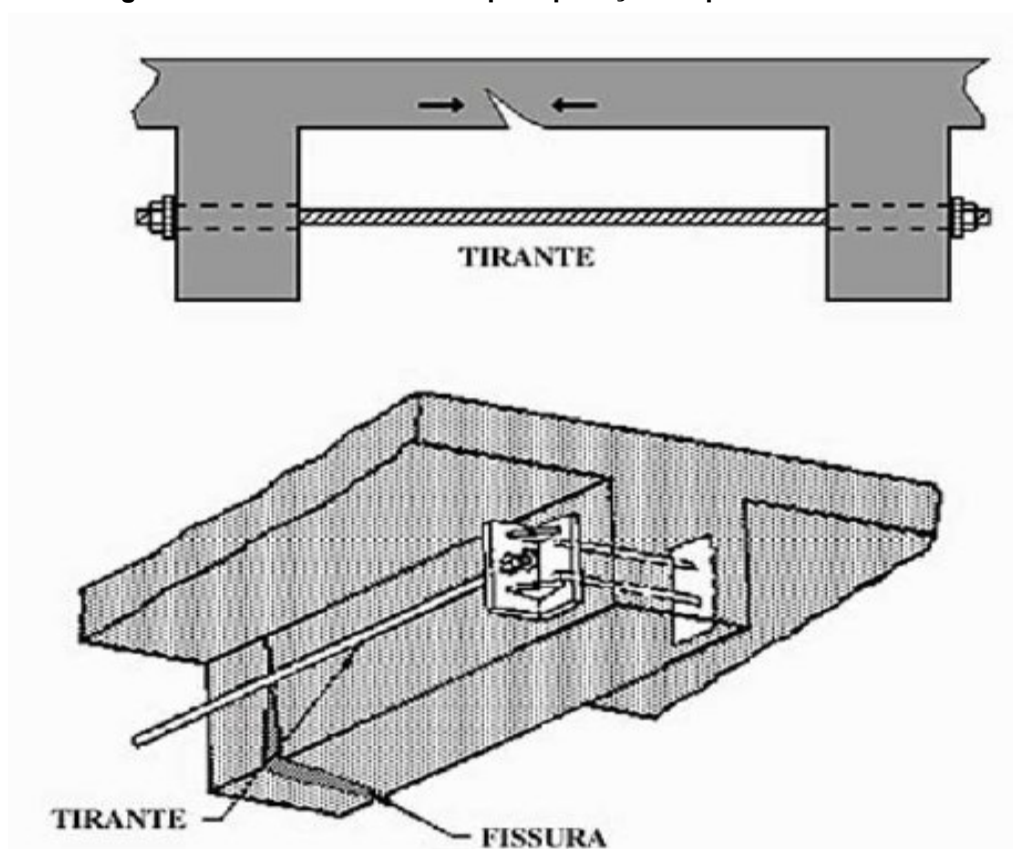
Resina de revestimento

Fonte: Souza (1998)

#### 4.5.6.4 Protensão exterior

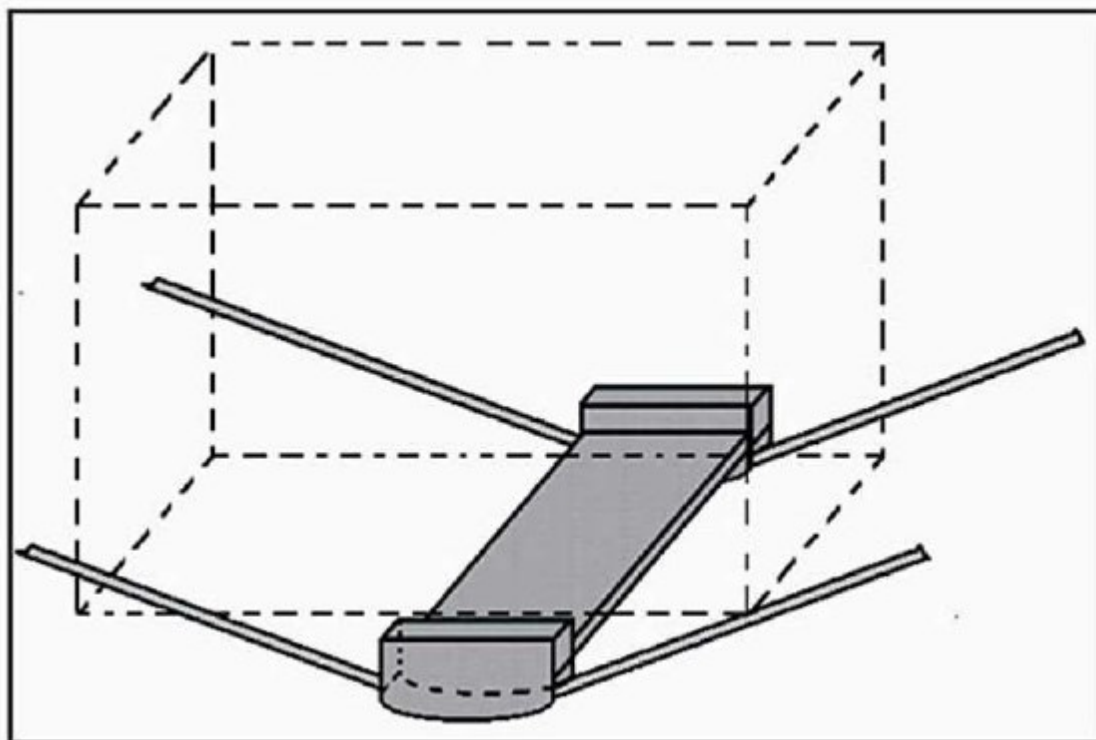
Segundo Souza (1998) a técnica de protensão exterior (não aderente), com a utilização de barras ou cabos, vem sendo a preferida, quase que pela unanimidade dos especialistas na matéria, quando se trata de serviços de recuperação ou reforço de estruturas, cujos casos mais comuns, em termos de justificação ao recurso à protensão, são os que a seguir, em forma de resumo, são exemplificados:

**Figura 17- Costura de fissuras por aplicação de protensão exterior**



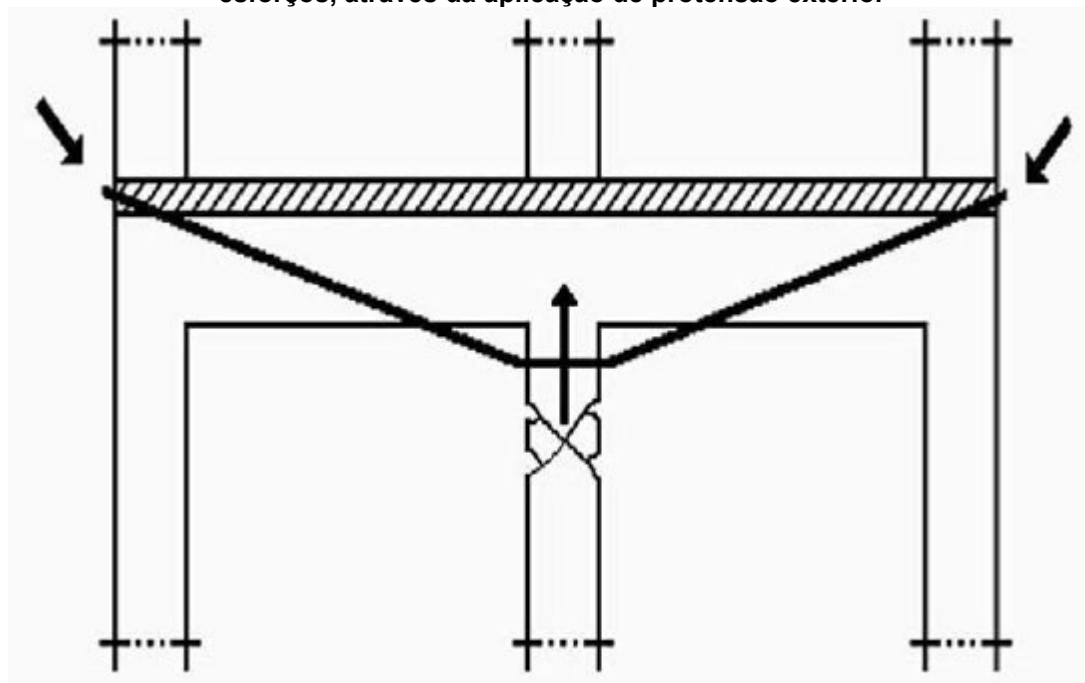
Fonte: Souza (1998)

Figura 18- Inibição de deformação por aplicação de protensão exterior



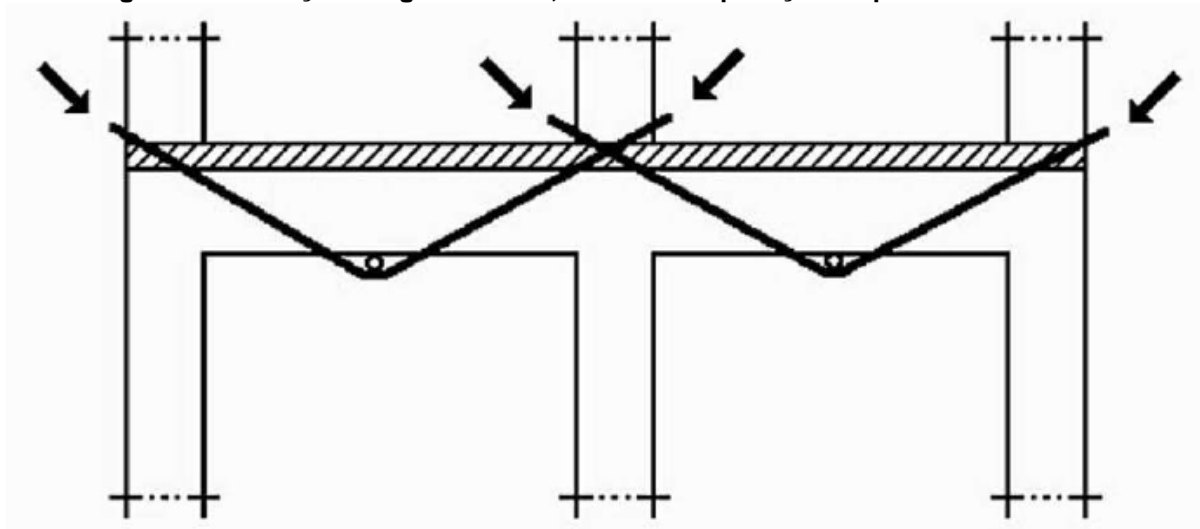
Fonte: SOUZA (1998)

Figura 19- Substituição de um pilar danificado, com a consequente redistribuição de esforços, através da aplicação de protensão exterior



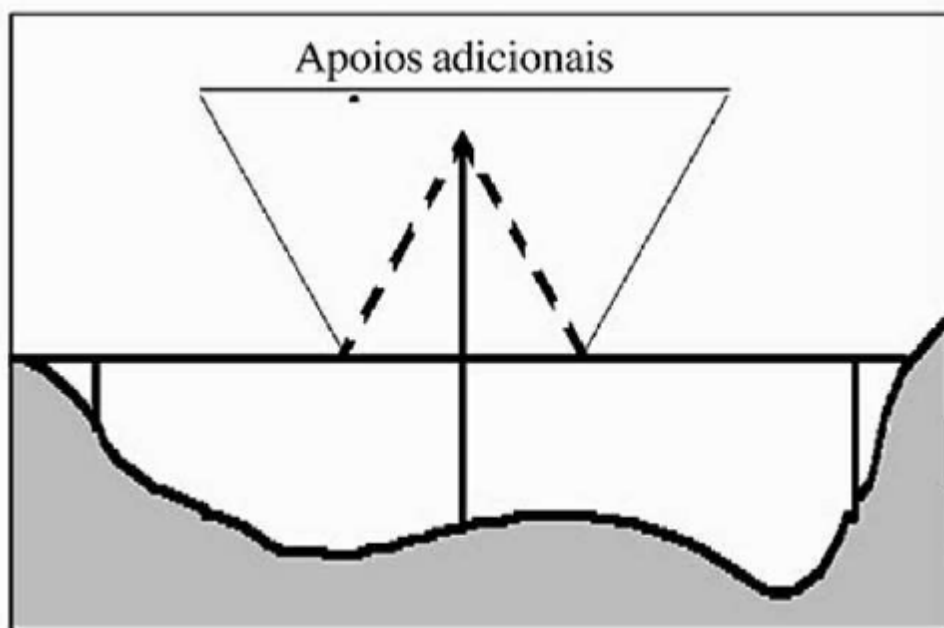
Fonte: Souza (1998)

Figura 20- Reforço de vigas à flexão, através da aplicação de protensão exterior



Fonte: Souza (1998)

Figura 21- Criação de apoios adicionais, através da aplicação de protensão exterior



Fonte: Souza (1998)

## 5 METODOLOGIA DE PESQUISA

O passo a passo para o desenvolvimento deste trabalho iniciou-se com a revisão bibliográfica sobre as patologias em concreto armado a fim de fornecer embasamento teórico acerca do estudo de caso elaborado através de consulta e análise de livros, artigos, relatórios e projetos de reforço e manutenção confiáveis.

Posteriormente foram realizadas buscas presenciais em inúmeras edificações aonde estariam sendo realizadas obras de reparo na cidade de São Paulo. Nas diversas visitas realizadas foram feitos registros fotográficos e diálogos com os profissionais sobre a complexidade das patologias e rotina de trabalho e tiveram o intuito de encontrar uma obra com manifestações patológicas de notável importância para que se pudesse efetuar um estudo técnico qualitativo.

Após a seleção do estudo de caso, por fim foi proposta a solução para reparo e acompanhamento por meio de registros fotográficos, análise de projetos e consulta à relatórios técnicos de execução da recuperação e reforço da estrutura comprometida.

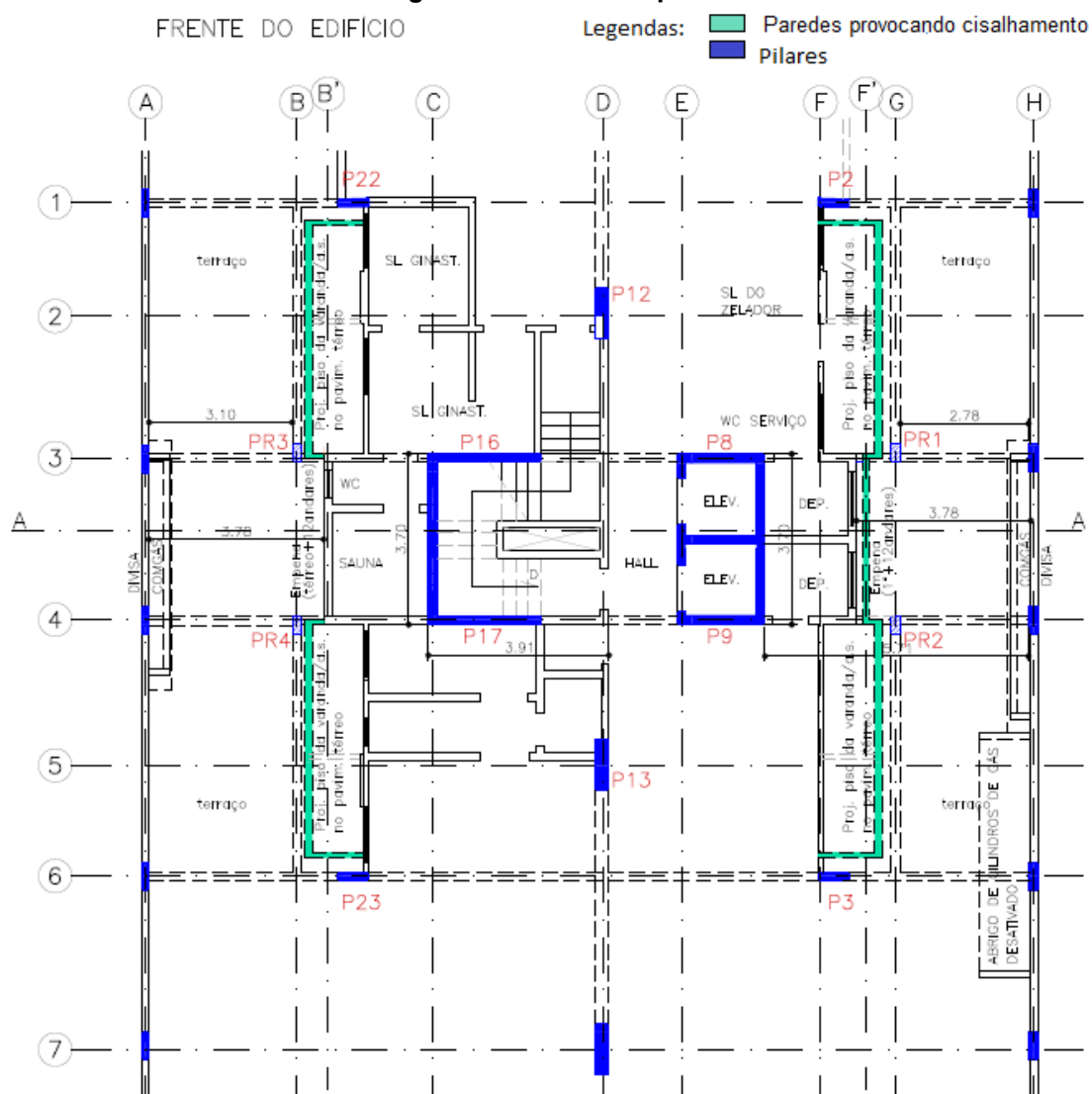
## **6 ESTUDO DE CASO**

Por meio de coleta dos dados através das visitas realizadas no local do edifício estudado em março de 2019 foi possível observar e analisar as manifestações patológicas graves localizadas no 1° e 2° subsolo. Uma vez feita a apuração de tais patologias pode-se propor a melhor maneira de executar o reparo e reforço dos elementos estruturais da edificação que posteriormente serão entregues aos responsáveis pela obra de reparo. Em 2020 foi realizada uma segunda visita para estudar a solução adotada pela empresa responsável pela reforma e acompanhar as obras de reparo e reforço dos elementos estruturais estudados. Em setembro de 2023 foi realizado finalmente uma terceira visita a fim de verificar a eficiência e segurança do método de reparo adotado.

### **6.1 Observação das manifestações patológicas.**

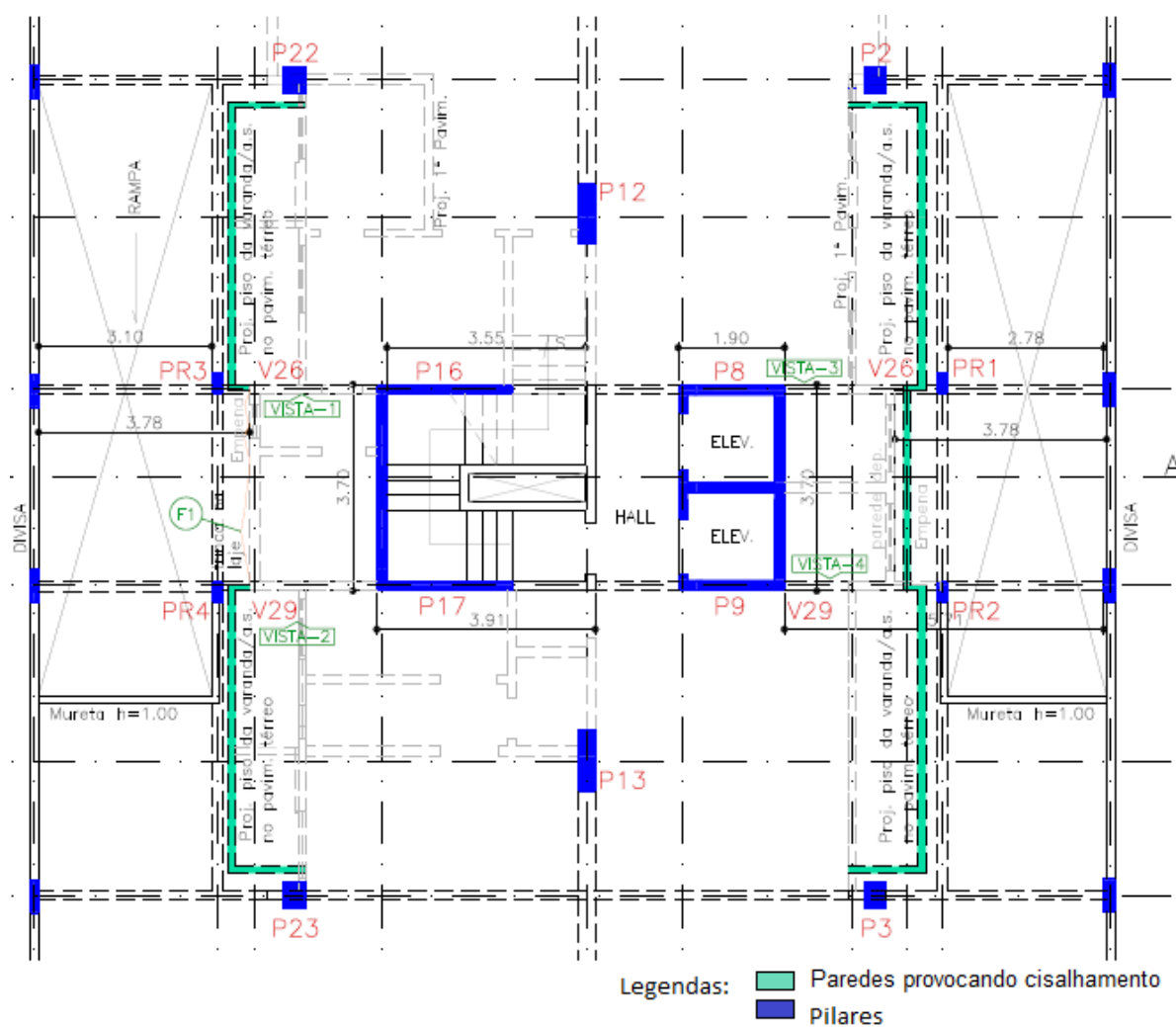
Os locais visitados e observados se tratam do pavimento térreo, 1° e 2° subsolos aonde se encontram a entrada e dois bolsões de estacionamento, respectivamente do condomínio. As manifestações patológicas encontradas situam-se nos elementos de concreto armado que influenciam drasticamente na sustentação de toda a estrutura do prédio. A planta do edifício nas Figuras 22, 23 e 24 apresentam o pavimento térreo, 1° e 2° subsolos, respectivamente além do corte mostrado na Figura 25. Nas representações contém hachuras em azul: que indicam os pilares; e verde: que indicam a atuação da força cortante advindas das empenas laterais do 1° ao 12° andar que solicitam os elementos estruturais comprometidos.

**Figura 22 – Planta do pavimento térreo.**



Fonte: Autoria própria (2023)

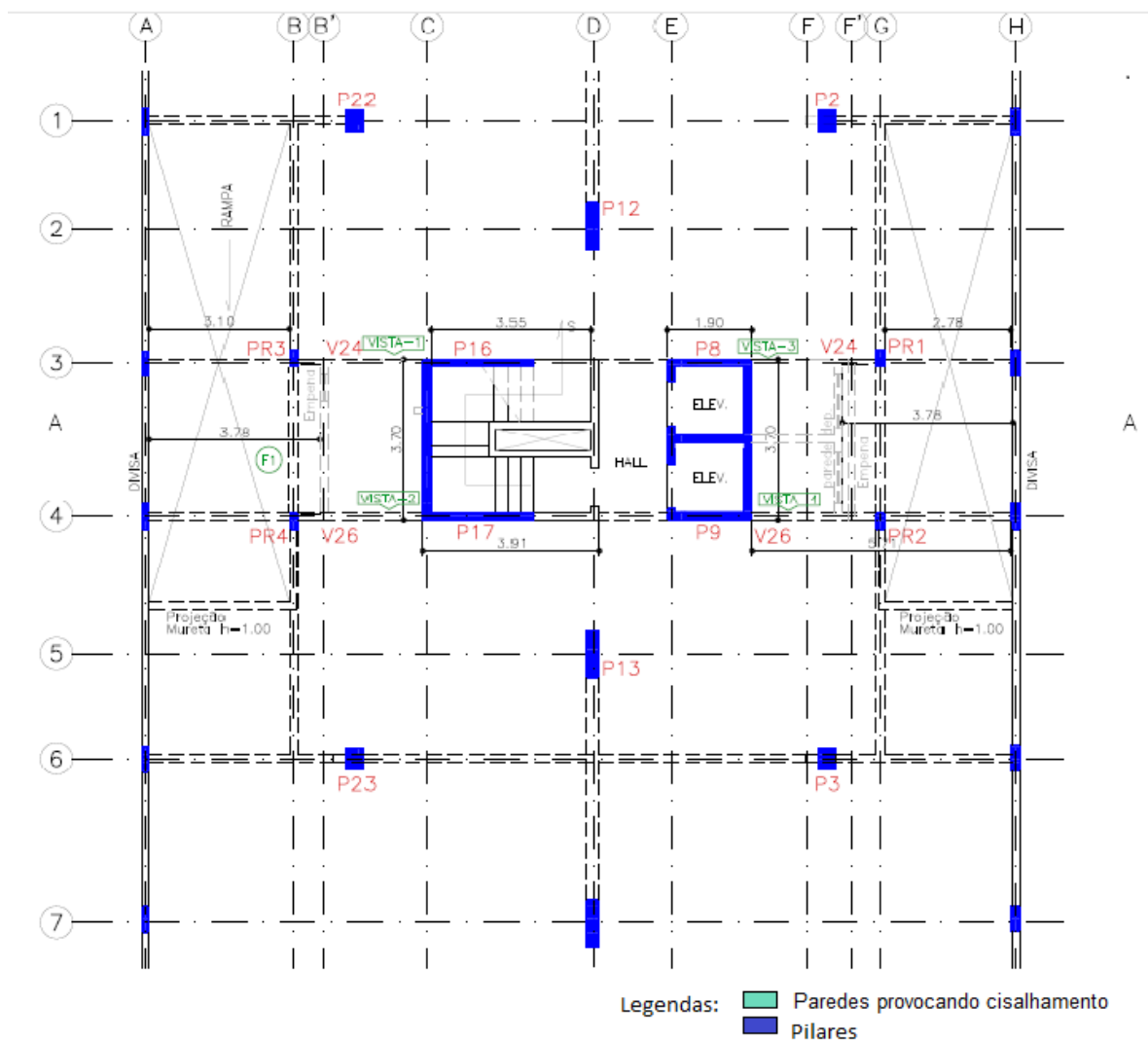
Figura 23 - Planta do 1º Subsolo.



Fonte: Autoria própria (2023)

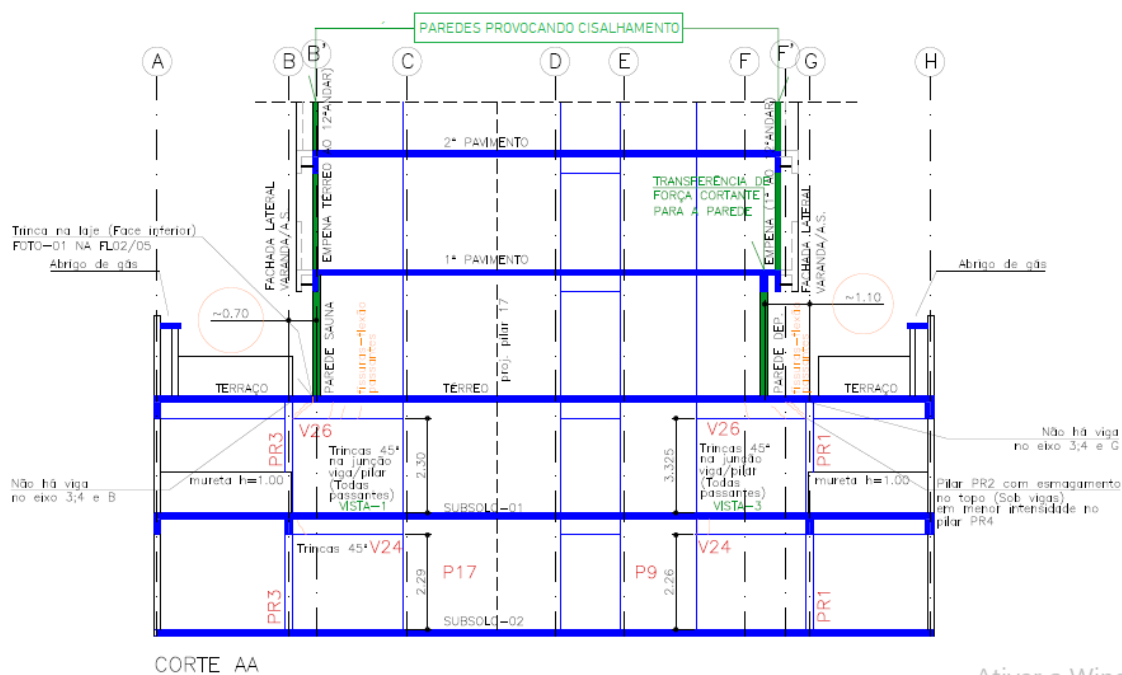


Figura 24 - Planta do 2º subsolo



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 25 – Corte AA



Fonte: Autoria própria (2023)

### 6.1.1 Patologia 1

Foi encontrada trinca a 45° na viga V26 junto ao pilar PR3 no primeiro subsolo como mostra a figura 26.

Figura 26 - Trinca a 45° em viga V26 com pilar PR3

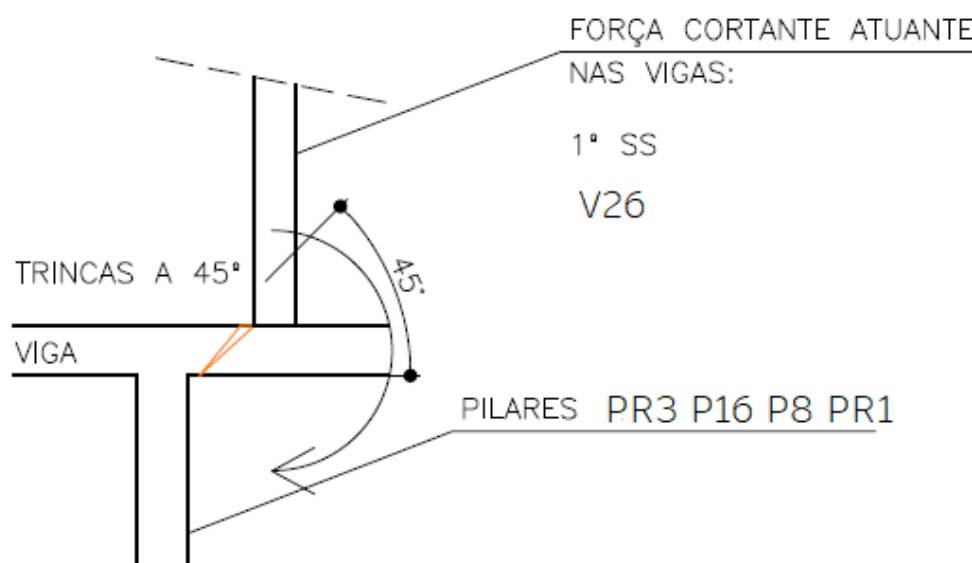


Fonte: Autoria própria (2020).

#### 6.1.1.1 Causa da patologia 1

De acordo com Thomaz (1989) as trincas com ângulos de aproximadamente 45° são advindos do rompimento por esforço cortante resultante do subdimensionamento ou sobrecarga não prevista da estrutura analisada. A Figura 27 esquematiza a configuração da patologia.

**Figura 27 - Configuração da trinca a 45°**

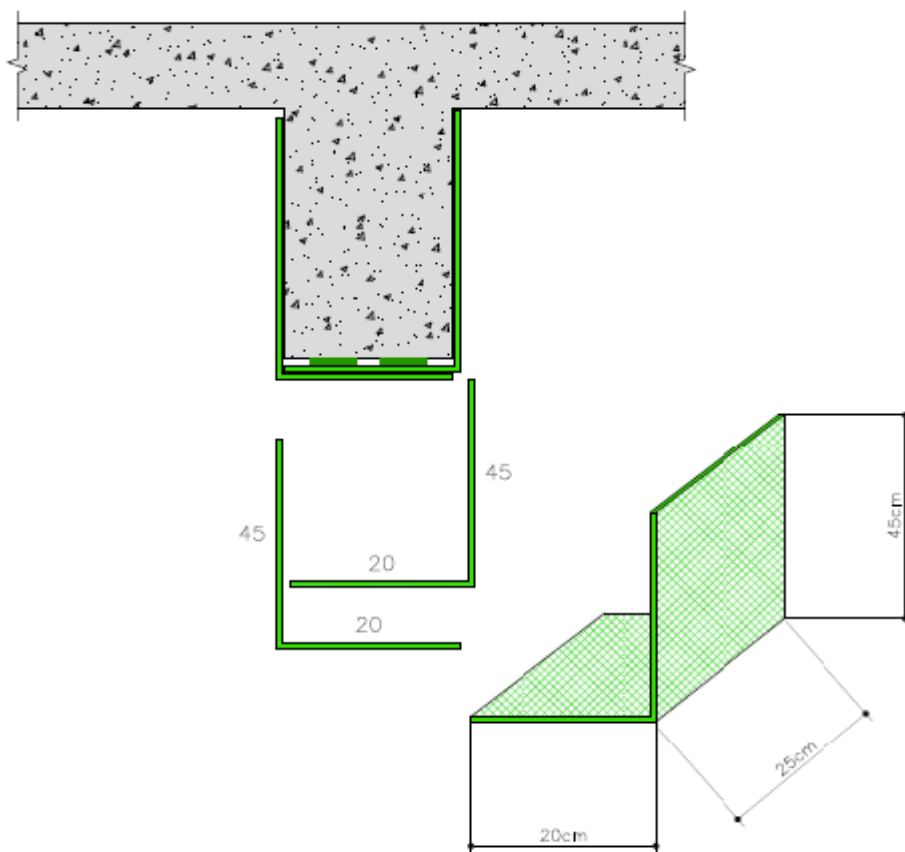


**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 6.1.1.2 Recuperação da patologia 1

O reforço da viga V26 será feito por meio de compósito de fibra de carbono com resina epóxi com o objetivo de complementar a armadura transversal e por fim incrementar a capacidade de resistência em esforços de cisalhamento. Para Beber (2003) a malha tipo "U", em seus ensaios realizados, constatou média de 85% de incremento no reforço de vigas submetidas ao esforço de cisalhamento. A representação da fibra de carbono pode ser observada na Figura 28.

**Figura 28 - Malha tipo "U"**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O processo de reparo e reforço ocorrerá através das seguintes etapas:

- Limpeza mecânica prévia retirando quaisquer impurezas para preparo do substrato;
- Esmerilagem da superfície para demarcação da região onde será feito o reforço.
- Aplicação do primer epóxi de baixa viscosidade, é utilizado para penetrar a estrutura de poros de substratos cimentícios.
- Instalação do tecido de fibra de carbono de alta resistência. Com resistência a tração da fibra de 4950 Mpa com peso por unidade de área de 300 g/m<sup>2</sup>
- Aplicação da resina epóxi de encapsulamento, fluida e livre de solventes, garantindo um sistema de alto desempenho.

Após a execução das etapas descritas, o elemento reforçado deverá ser monitorado para certificar a não ocorrência de novas fissuras.

Em 2023 foi realizada nova visita no local para novos registos fotográficos com a finalidade de comprovar a eficácia do método abordado como mostra a Figura 29.

**Figura 29 - Viga V26 reforçada (2023)**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

### 6.1.2 Patologia 2

Foi observado ainda no primeiro subsolo trincas de 4 mm a 45° na viga V29 próximo ao apoio com o pilar PR4 como é exposto na Figura 30.

Figura 30 - Trinca de 2 mm a 45°

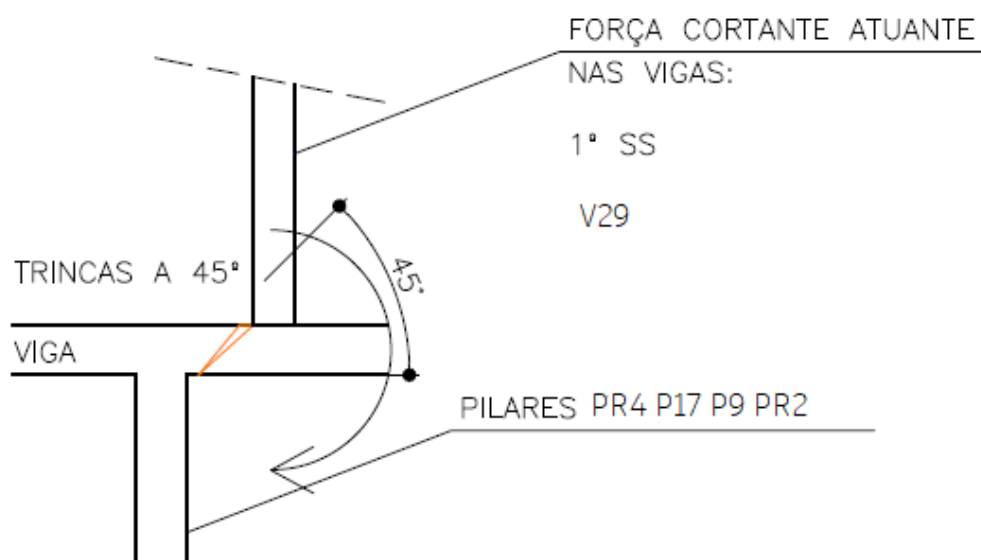


Fonte: Autoria própria (2020)

#### 6.1.2.1 Causa da patologia 2

De acordo com Thomaz (1989), de forma semelhante à patologia 1, as trincas com ângulos de aproximadamente 45° são advindos do rompimento por esforço cortante resultante do subdimensionamento ou sobrecarga não prevista da estrutura analisada. A Figura 31 esquematiza a configuração da patologia.

Figura 31 - Configuração da trinca em V29



Fonte: Autoria própria (2023)

### 6.1.2.2 Recuperação da patologia 2

De maneira análoga à viga V26 da patologia 1, o reforço da viga V2 será feito por meio de compósito de fibra de carbono com resina epóxi com o objetivo de complementar a armadura transversal e por fim incrementar a capacidade de resistência em esforços de cisalhamento. Da mesma maneira da viga V26, a viga V29 será reforçada com a malha tipo “U”. Beber (2006) em seus ensaios realizados, constatou média de 85% de incremento no reforço de vigas submetidas ao esforço de cisalhamento. A representação da malha pode ser observada na Figura 28.

O processo de reparo e reforço ocorrerá através das seguintes etapas:

- Limpeza mecânica prévia retirando quaisquer impurezas para preparo do substrato;
- Esmerilagem da superfície para demarcação da região onde será feito o reforço.
- Aplicação do primer epóxi de baixa viscosidade, é utilizado para penetrar a estrutura de poros de substratos cimentícios.
- Instalação do tecido de fibra de carbono de alta resistência. Com resistência a tração da fibra de 4950 Mpa com peso por unidade de área de 300 g/m<sup>2</sup>
- Aplicação da resina epóxi de encapsulamento, fluida e livre de solventes, garantindo um sistema de alto desempenho.

Após a execução das etapas descritas, o elemento reforçado deverá ser monitorado para certificar a não ocorrência de novas fissuras.

Em 2023 foi realizada nova visita no local para novos registros fotográficos com a finalidade de comprovar a eficácia do método abordado como mostra a Figura 32.

**Figura 32 - Viga V29 reforçada (2023)**

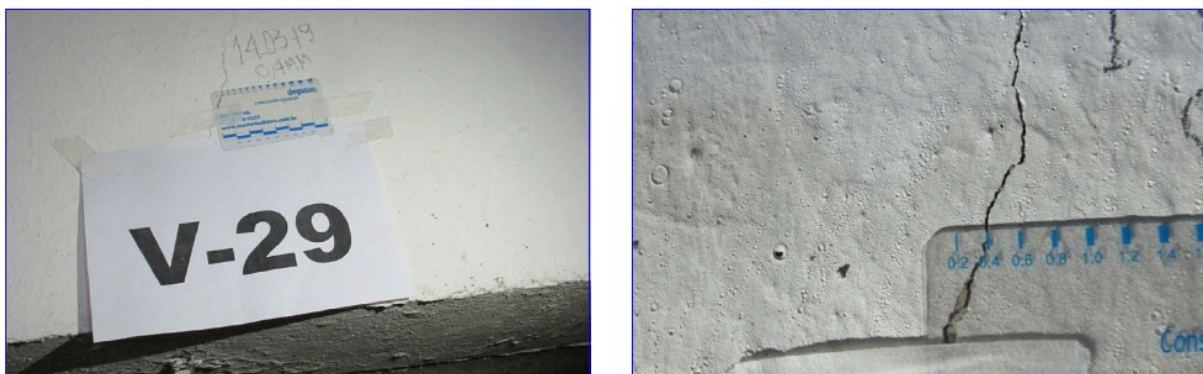


Fonte: Autoria própria (2023)

### 6.1.3 Patologia 3

Foi observado na viga V29 no primeiro subsolo fissuras verticais de 0.4 mm na porção central entre os pilares P9 e PR2 como é mostrado na Figura 33.

**Figura 33 - Viga V29 com fissura de 0.4 mm.**



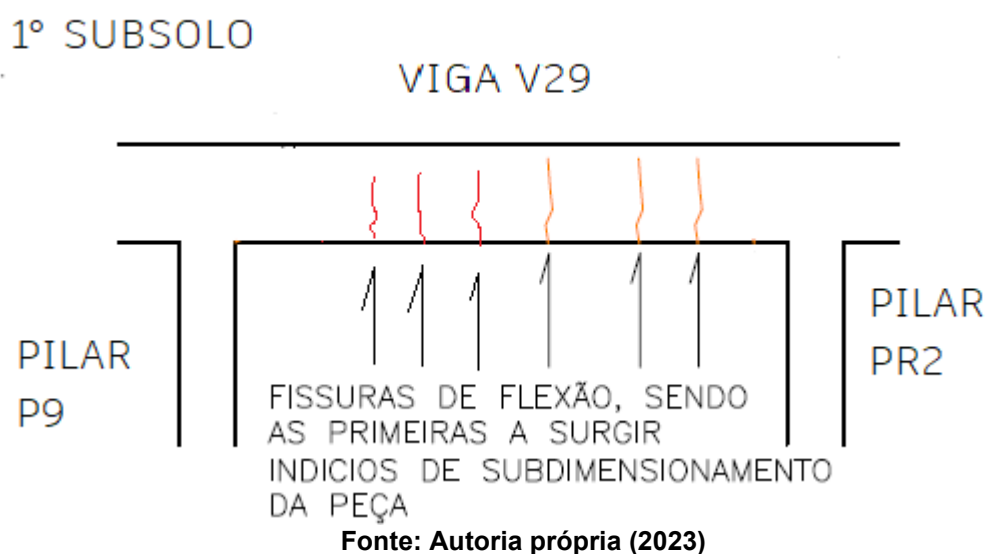
Fonte: Autoria própria (2020)



### 6.1.3.1 Causa da patologia 3

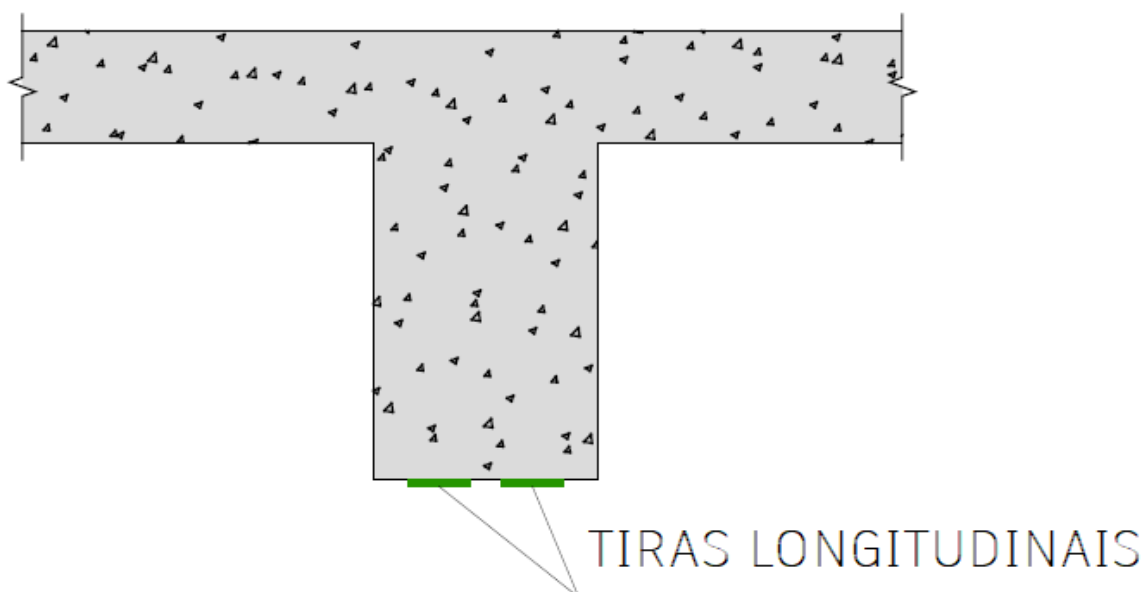
De acordo com Thomaz (1989) as trincas com ângulos verticais são advindas do rompimento por esforços de flexão resultante do subdimensionamento ou sobrecarga não prevista da estrutura analisada. A Figura 34 esquematiza a configuração da patologia.

**Figura 34 - Configuração das fissuras em V29**



### 6.1.3.2 Recuperação da patologia 3

A recuperação e o reforço da viga V29 será feito por meio de compósito de fibra de carbono com resina epóxi com o objetivo de complementar a armadura longitudinal e por fim incrementar a capacidade de resistência em esforços de flexão. De acordo com Beber (2003) em seus experimentos a disposição do compósito em duas tiras longitudinais de 5 cm de largura tem como acréscimo entre 12.5 a 42.8% ao esforço de flexão. A representação da fibra de carbono aplicada na viga pode ser observada na Figura 35.

**Figura 35 - Malhas longitudinais**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O processo de reparo e reforço ocorrerá através das seguintes etapas:

- Limpeza mecânica prévia retirando quaisquer impurezas para preparo do substrato;
- Esmerilagem da superfície para demarcação da região onde será feito o reforço.
- Aplicação do primer epóxi de baixa viscosidade, é utilizado para penetrar a estrutura de poros de substratos cimentícios.
- Instalação do tecido de fibra de carbono de alta resistência. Com resistência a tração da fibra de 4950 Mpa com peso por unidade de área de 300 g/m<sup>2</sup>
- Aplicação da resina epóxi de encapsulamento, fluida e livre de solventes, garantindo um sistema de alto desempenho.

Após a execução das etapas descritas, o elemento reforçado deverá ser monitorado para certificar a não ocorrência de novas fissuras.

Em 2023 foi realizada nova visita no local para novos registros fotográficos com a finalidade de comprovar a eficácia do método abordado como mostra a Figura 36.

**Figura 36 - Viga V29 reforçada**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 6.1.4 Patologia 4

Foi observado a presença de rachaduras acompanhadas com regiões de deslocamento do concreto precisamente na cabeça do pilar PR2 no segundo subsolo, fato que caracteriza esmagamento do mesmo, como mostrada na Figura 37.

**Figura 37 – Esmagamento do pilar PR2 no segundo subsolo**

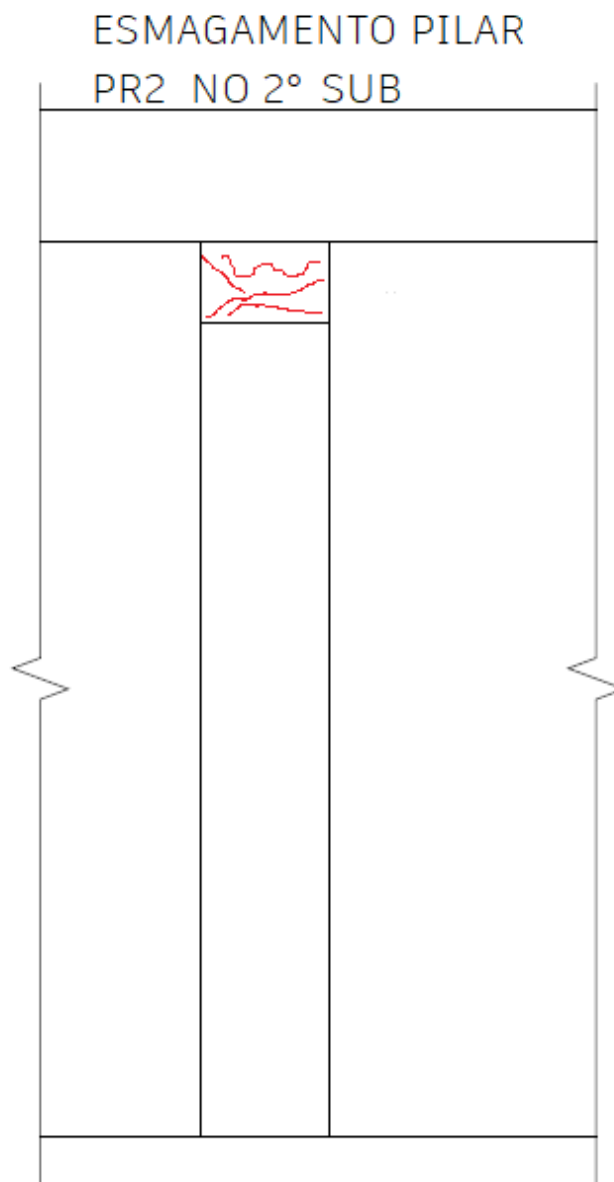


Fonte: Autoria própria (2020)

#### 6.1.4.1 Causa da patologia 4

De acordo com Souza (1998) as rachaduras e deslocamentos de concreto em pilares são advindas do rompimento por esforços de compressão resultante do subdimensionamento de estribos ou com espaçamentos distantes, sobrecarga não prevista ou armaduras insuficientes da estrutura analisada. A Figura 38 esquematiza a configuração da patologia.

**Figura 38 - Representação do esmagamento do pilar PR2**



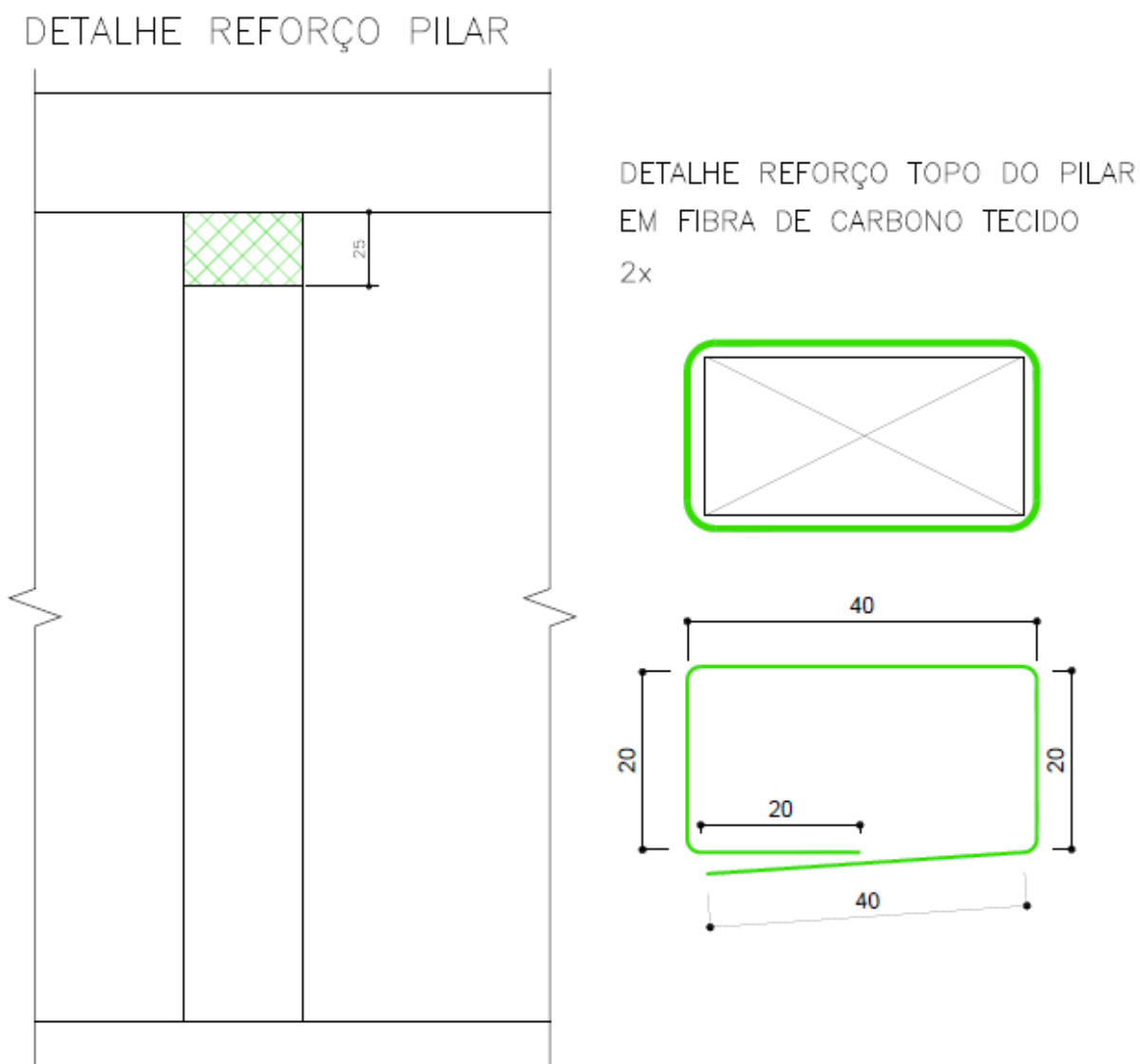
**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 6.1.4.2 Reforço da patologia 4

De maneira análoga às vigas referentes da patologia 1, 2 e 3, o reforço do pilar PR2 será feito por meio de compósito de fibra de carbono com resina epóxi com o objetivo de complementar a armadura transversal e por fim incrementar a capacidade de resistência em esforços de cisalhamento. O pilar PR2 será reforçado com a malha disposta por confinamento. Para Wu (2007), embasado por resultados experimentais com pilares reforçado com compósitos com fibra de carbono de

maneira confinada, apresentaram incrementos de 67.8% quando submetidos a tensões últimas de compressão. A Figura 39 mostra o esquema contendo as medidas e a disposição da fibra de carbono na cabeça do pilar PR2

**Figura 39 - Detalhamento da fibra de carbono aplicada no pilar PR2**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para a recuperação do topo do pilar PR2 no segundo subsolo será feita de acordo com a revisão bibliográfica seguindo as seguintes etapas:

- Escarificação superficial do concreto solto, remoção de todos os materiais soltos e segregados, além do concreto existente em torno das armaduras até que seja possível passar a mão em torno das armaduras.
- Aplicação de argamassa polimérica tixotrópica, com propriedade anticorrosiva para proteção das armaduras, aplicada em camadas

sucessivas de espessura não superior a 15 mm, até que se atinja a espessura final desejada.

- Aplicação de primer epóxi de baixa viscosidade é utilizado para penetrar a estrutura de poros de substratos cimentícios.
- Instalação do tecido de fibra de carbono de alta resistência. Com resistência a tração da fibra de 4950 Mpa com peso por unidade de área de 300 g/m<sup>2</sup>
- Aplicação da resina epóxi de encapsulamento, fluida e livre de solventes, garantindo um sistema de alto desempenho.

Em 2023 foi realizada nova visita no local para novos registros fotográficos com a finalidade de comprovar a eficácia do método abordado como mostra a Figura 40.

**Figura 40 – Pilar PR2 segundo subsolo reforçado**



Fonte: Autoria própria (2023)

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as construções em concreto armado estão sujeitas a sofrerem manifestações patológicas, durante sua vida útil, interferindo ou não na finalidade a qual ela foi projetada. Essas interferências podem envolver questões estéticas, funcionais e até estruturais, tornando as edificações mais vulneráveis ou até mesmo comprometendo sua funcionalidade. Os agravamentos dos sintomas podem tornar a reparação inviável, tornando a estrutura ou elemento danificado obsoleto.

A revisão bibliográfica, a análise do local e das manifestações patológicas, permitiram adotar uma solução técnica que seja viável economicamente e construtivamente, a fim de erradicar o problema impedindo que o mesmo não retorne. A adoção de medidas complementares de proteção é necessária para a preservação da estrutura o que reduz a necessidade de executar reparos futuros, causando perturbações aos usuários e trabalhadores.

O diagnóstico seguro dos problemas possibilitou conseguir identificar as origens das patologias e os agentes responsáveis pelo seu surgimento, podendo assim, selecionar a ação mais adequada para cada caso.

A partir do trabalho desenvolvido aqui, é possível observar que reparos em estruturas de concreto armado a partir do uso de compósitos de fibra de carbono pode ser executado para reforçar estruturas com intervenções menos invasivas. Tendo como base os trabalhos de Beber (2003) e Wu (2007) podemos incrementar a capacidade de carga de uma estrutura utilizando formas dos compósitos mais adequada ao reparo a ser executado.

Devida à abordagem ser focada na dinâmica do concreto armado, a delimitação da pesquisa foi focalizada nas patologias na estrutura de concreto armado, sem abranger a outros tipos de patologia do Condomínio. Entretanto, fica de proposta para trabalhos futuros pesquisas com soluções em outros tipos de patologia que poderiam ocorrer na construção.



## REFERÊNCIAS

- BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Porto Alegre, 2003 Tese (Doutorado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003
- CASCUDO, O. **O controle da Corrosão de Armaduras em Concreto**. São Paulo: Editora Pini, 1997
- CASTRO, T. F. C. **Manutenção em estruturas de concreto armado baseado no conceito de manutenção centrada em confiabilidade**. 2016. 71f. Monografia de Especialização – Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 13 2016.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1988.
- HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Editora Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.
- HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo, Pini, 1992.
- MACHADO, A. P. **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. São Paulo: Editora Pini; 2002
- SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Editora Pini, 1998.
- THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Editora Pini: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, p. 15 1989.
- WU G.; WU Z. S.; LÜ Z. T. Design-oriented stress-strain model for concrete prisms confined with FRP composites **Construction and Building Materials**, Hong Kong, v. 21 n 5, p. 1107-1121, mai. 2007.