

## **Monografia**

# **"ANÁLISE DE ALGUMAS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DO RIBEIRÃO ARRUDAS"**

Autora: Solange Diniz dos Santos  
Orientador: Prof. Ayrton Vianna Costa

Belo Horizonte  
Julho/2015

Solange Diniz dos Santos

**"ANÁLISE DE ALGUMAS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS  
DO RIBEIRÃO ARRUDAS"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização  
em Construção Civil da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal de Minas Gerais.  
Ênfase: Construção Civil

Orientador: Prof. Ayrton Vianna Costa

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2015

Dedico este trabalho a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado o dom da vida.

Agradeço a minha família por sempre me incentivar, ao meu esposo Carlos pela dedicação e confiança em mim, meu filho Marcelo pelo carinho e minha filha Janyne pela paciência e força nos momentos difíceis.

Agradeço ao Prof. Ayrton Vianna Costa pelo tempo dedicado e conhecimentos disponibilizados.

Agradeço ao Prof. José Eduardo Aguiar, da Recuperação Engenharia, pela contribuição neste trabalho.

## **RESUMO**

Ao longo dos anos, novas técnicas de recuperação das estruturas surgem, devido ao crescente conhecimento das manifestações e mecanismos patológicos nos materiais envolvidos, seja do concreto ou do aço, das edificações. Inicialmente, os procedimentos começam pela superfície, com várias etapas que serão abordadas e descritas no decorrer do trabalho. Seguida, pelos reparos com revestimentos, podendo ser de argamassa ou concreto. Posteriormente, pelo tratamento das trincas e fissuras, sendo estas as principais causas de deterioração das estruturas. E por fim, o reforço estrutural, com acréscimos de armaduras. Este trabalho tem por finalidade apresentar as técnicas de recuperação de estruturas em concreto armado, bem como, as definições e as sequências de execuções. Especificamente, pretende-se demonstrar e aplicar os processos de recuperação estrutural com suas etapas de diagnósticos e tratamentos no estudo de caso.

Palavras-chave: Recuperação e reforço. Técnicas. Procedimentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO .....	2
2.1 <i>Objetivo geral</i> .....	2
2.2 <i>Objetivo específico</i> .....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 <i>Considerações gerais</i> .....	3
3.2 <i>Algumas técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado</i> .....	7
3.3 <i>Sintomatologia das estruturas de concreto</i> .....	8
3.3.1 Generalidades.....	8
3.3.1.1 Mecanismos básicos da degradação .....	8
3.3.1.1.1 Lixiviação do concreto.....	9
3.3.1.1.2 Corrosão das armaduras .....	10
3.3.1.1.3 Reações álcali-agregados.....	12
3.3.1.1.4 Ataque de sulfatos .....	14
3.3.1.1.5 Efeitos físicos decorrentes do fogo e do congelamento .....	15
3.3.1.1.6 Deterioração por desgaste superficial.....	16
3.3.1.1.7 Biodeterioração do concreto .....	18
3.4 Intervenções nas superfícies de concreto.....	19
3.4.1 Polimento .....	19
3.4.2 Lavagens .....	20
3.4.2.1 Com aplicação de soluções ácidas.....	20
3.4.2.2 Com aplicação de soluções alcalinas .....	21
3.4.2.3 Com aplicação de jatos d'água e areia .....	21
3.4.3 Limpezas especiais.....	22
3.4.3.1 Jatos de vapor .....	22
3.4.3.2 Jatos de ar comprimido.....	23
3.4.3.3 Escovação manual.....	23

3.4.3.4 Escarificação.....	24
3.4.4 Saturação.....	25
3.4.5 Cortes .....	25
3.4.6 Discernir a melhor intervenção .....	27
3.5 Tratamento das fissuras .....	28
3.5.1 Identificação da anomalia e escolha da técnica de intervenção .....	28
3.5.2 Injeção de fissuras .....	28
3.5.3 Selagem das fissuras.....	29
3.5.4 Grampeamento .....	30
3.6 Intervenção na estrutura .....	31
3.6.1 Recuperação com argamassa .....	31
3.6.1.1 Argamassa de cimento e areia .....	31
3.6.1.2 Argamassa “farofa” .....	32
3.6.1.3 Argamassa com polímeros .....	33
3.6.1.4 Argamassa com epóxi.....	33
3.6.2 Recuperação com graute.....	34
3.6.3 Recuperação com concreto .....	34
3.6.3.1 Concreto convencional.....	34
3.6.3.2 Concreto projetado .....	35
4. METODOLOGIA .....	38
4.1 <i>Coleta de dados</i> .....	38
4.2 <i>Características da estrutura</i> .....	39
4.3 <i>Metodologia utilizada</i> .....	40
4.4 <i>Situação encontrada</i> .....	41
4.4.1 Margens secas da laje de piso.....	41
4.4.2 Paredes de diafragma.....	41
4.4.3 Vigas de coroamento e estroncas.....	42
4.4.4 Vigas das travessias de veículos .....	42
4.4.5 Trechos sem laje de piso .....	42
4.5 <i>Especificações</i> .....	43
4.5.1 <i>Procedimentos recomendados</i> .....	43
4.5.1.1 Remoção das vegetações existentes .....	43

4.5.1.2 Tratamento das trincas transversinas nas margens secas da laje de fundo .....	44
4.5.1.3 Tratamento das faixas abertas .....	50
4.5.1.4 Recuperação das áreas com armaduras expostas das paredes de diafragma e vigas de coroamento .....	52
<i>4.5.2 Tratamento das vigas estroacas</i> .....	59
4.5.2.1 Inibidor de corrosão nas argamassas poliméricas ou graute .....	61
4.5.2.2 Inibidor de corrosão para superfícies .....	62
4.5.2.3 Pintura das estroacas .....	63
<i>4.5.3 Ensecamento da laje</i> .....	64
<i>4.5.4 Limpeza das superfícies da laje de fundo</i> .....	66
<i>4.5.5 Aplicação da camada de desgaste do piso</i> .....	66
5. CONCLUSÕES .....	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Lixiviação (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	10
Figura 3.2: Pilar sobre o mar após 10 anos de construção, deteriorado devido aos efeitos da interação da carbonatação com íons e cloreto (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010).....	11
Figura 3.3: Pilar em indústria com corrosão nas armaduras devido a carbonatação (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	12
Figura 3.4: Desenvolvimento da reação álcali-agregados no concreto (Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998) .....	13
Figura 3.5: Mapeamento de fissuras em blocos de fundação devido a reação álcali-agregado (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	13
Figura 3.6: Desintegração do concreto por ataque de sulfatos (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	14
Figura 3.7: Topo da chaminé de uma siderúrgica, deteriorada pela variação brusca de temperatura (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010).....	15
Figura 3.8: Desgaste superficial por abrasão em pavimento de concreto (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010).....	16
Figura 3.9: Erosão em galeria de água pluvial (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	17
Figura 3.10: Desgaste por cavitação (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	17
Figura 3.11: Teto de galeria de águas pluviais contaminadas por esgotos apresenta manchas devido ao ataque biológico (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	18
Figura 3.12: Crescimento de raízes de plantas em fendas do concreto deterioram a estrutura (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	19
Figura 3.13: Aplicação de jatos d'água na limpeza de superfície (Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998) .....	22
Figura 3.14: Utilização de escova com cerdas de aço (Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998) .....	23
Figura 3.15: Equipamento utilizado na escarificação: Martelo pneumático (Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998).....	24

Figura 3.16: Remoção manual do concreto danificado (Fonte: SOUZA e RIPPEN, 1998) .....	25
Figura 3.17: Remoção de concreto danificado por corte (Fonte: SOUZA e RIPPEN, 1998) .....	26
Figura 3.18: Profundidade da remoção do concreto contaminado (Fonte: SOUZA e RIPPEN, 1998) .....	26
Figura 3.19: Aspecto da cavidade do corte do concreto (Fonte: SOUZA e RIPPEN, 1998) .....	27
Figura 3.20: Equipamento utilizado na técnica de Injeção de fissura (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	29
Figura 3.21: Selagem de fendas com abertura entre 10mm e 30mm (Fonte: SOUZA e RIPPEN, 1998) .....	30
Figura 3.22: Detalhe dos grampos não alinhados posicionados alternadamente (Fonte: SOUZA e RIPPEN, 1998).....	31
Figura 3.23: Detalhe das camadas de reparo e espessura recomendável do corte (Fonte: SILVA, 2006) .....	32
Figura 3.24: Detalhe do reparo com argamassa “farofa” (Fonte: SILVA, 2006) .....	33
Figura 3.25: Detalhe da fôrma cachimbo (Fonte: SILVA, 2006) .....	35
Figura 3.26: Equipamento de mistura do concreto projetável (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010) .....	36
Figura 3.27: Aplicação do Concreto projetável (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010).....	36
Figura 4.1: Detalhe do trecho entre a Av. do Contorno e a Rua dos Carijós (Fonte: GOOGLE MAPS, 2015).....	38
Figura 4.2: Detalhe da calha central existente no canal (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	40
Figura 4.3: Remoção da vegetação e sujeiras existentes no canal (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	43
Figura 4.4: Corte do concreto para tratamentos das trincas transversinas, utilizando equipamento de disco de corte (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	44

Figura 4.5: Demolição da faixa demarcada pelo disco de corte, utilizando rompedor pneumático (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	45
Figura 4.6: Formação de junta seca entre o contato das duas faces da laje de piso, sem armadura, só argamassa (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	46
Figura 4.7: Detalhe executivo da recuperação da laje de fundo do Ribeirão Arrudas (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	48
Figura 4.8: Detalhe executivo das etapas de recuperação de fissuras (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	49
Figura 4.9: Limpeza por jateamento de água com pressão removendo sujeiras na largura das faixas (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	50
Figura 4.10: Concretagem da laje de piso, utilização da régua “float” para melhorar o acabamento superficial (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	51
Figura 4.11: Cura úmida com utilização de mantas tipo bidim (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	52
Figura 4.12: Remoção das áreas contaminadas expondo a armadura, com a utilização de martelo rompedor pneumático (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	54
Figura 4.13: Limpeza da parede de diafragma, utilizando jateamento de água com pressão (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	55
Figura 4.14: Exposição da armadura e verificação do nível de perda de seção (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	56
Figura 4.15: Reforço da parede de diafragma com concreto projetado (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	59
Figura 4.16: Recuperação das vigas estroncas, idêntica a parede de diafragma (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	60
Figura 4.17: Limpeza das vigas estroncas, idêntica a parede de diafragma (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	61
Figura 4.18: Aplicação do inibidor de corrosão, utilizando pistola pneumática de baixa pressão (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	62
Figura 4.19: Detalhe do corta-rio (peças pré-moldadas de concreto armado (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	65

Figura 4.20: Ensecamento da laje de fundo, colocação do corta-rio (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009) .....	65
Figura 4.21: Detalhe da calha pré-moldada (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009).....	69

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 4.1: Perdas típicas de material do concreto permeável.....	37
---	----

## **LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS**

kg = quilo grama (unidade de medida de massa)

cm = centímetros (unidade de medida de comprimento)

mm = milímetros (unidade de medida de comprimento)

m = metros (unidade de medida de comprimento)

MPa = mega Pascal (unidade de medida de pressão)

NBR = Norma Brasileira

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas



## 1. INTRODUÇÃO

A degradação precoce da estrutura ocorre devido ao descaso na manutenção periódica, erros de projeto ou de execução. Mas, as estruturas de concreto armado podem atingir o tempo de vida útil para o qual foi projetada, desde que receba um tratamento adequado (REIS, 2001).

Ao longo dos anos, novas técnicas de recuperação das estruturas surgem, devido ao crescente conhecimento das manifestações e mecanismos patológicos nos materiais envolvidos, seja do concreto ou do aço, das edificações (HELENE e PEREIRA, 2003).

A grande evolução tecnológica possibilita, em grande parte, diagnosticar as falhas e deficiências existentes nas estruturas. Quando as anomalias são detectadas, procede-se a recuperação ou até o reforço estrutural (SILVA, 2006).

Inicialmente, os procedimentos começam pela superfície, com várias etapas que serão abordadas e descritas no decorrer do trabalho. Seguida, pelos reparos com revestimentos, podendo ser de argamassa ou concreto. Posteriormente, pelo tratamento das trincas e fissuras, sendo estas as principais causas de deterioração das estruturas. E por fim, o reforço estrutural, com acréscimos de armaduras (HELENE e PEREIRA, 2003).



## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

Tem por finalidade apresentar algumas técnicas de recuperação de estruturas em concreto armado, bem como, as definições e as sequências de execuções. Orientar os processos de recuperação estrutural com suas etapas de tratamentos e diagnósticos, até um possível reforço da estrutura.

### **2.2 Objetivo específico**

- a) Mostrar a sequência de execução de uma recuperação estrutural
- b) Mostrar as intervenções e seus cuidados no tratamento da estrutura
- c) Mostrar a importância da recuperação estrutural em relação a vida útil a qual foi projetada

Especificamente, através das revisões bibliográficas estudadas pretende-se mostrar a sequência de uma intervenção na estrutura para recuperação da sua capacidade portante e aumentar sua vida útil.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Considerações gerais**

A Engenharia é uma prática milenar que vem aperfeiçoando a utilização de seus materiais e suas técnicas de execução nas construções, muitas vezes, por acumulação de experiências anteriores em obras civis que, em muitos casos, foi obtido um sucesso na prática construtiva da obra (SILVA, 2006).

Essa experiência acumulada não ajudava a entender o processo de recuperação de um concreto antigo e deteriorado com a utilização de um concreto novo.

Assim, a recuperação e as atividades relacionadas a durabilidade da estrutura foram levadas a um segundo plano devido ao fato do concreto ser considerado, por muitos profissionais, eterno (HELENE e PEREIRA, 2003).

Para a ABNT 6118/2014, Durabilidade “consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. Prescreve também que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”.

Durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la (HELENE e PEREIRA, 2003).

Com o passar dos anos, as intervenções na durabilidade e no desempenho de obras antigas e novas, foram sendo mais frequentes e repetitivas, e de custo elevado aos empreendedores (SILVA, 2006).

Com isso, a preocupação com a recuperação e reforço da estrutura surge como um aliado da construção civil, para que a estrutura suporte o tempo de vida útil para que foi projetada. Atendendo as necessidades de reestabelecimento das condições originais das capacidades das estruturas (RECUPERAÇÃO, 2010).

O estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado e protendido tem evoluído graças ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e de gases agressivos nos meios porosos, como o concreto, que possibilitaram associar o tempo aos modelos matemáticos que expressam quantitativamente esses mecanismos (HELENE e PEREIRA, 2003).

Focando na durabilidade, ser sustentável é projetar as estruturas com qualidade, resistência e vida útil compatível com as suas necessidades de utilização, respeitando o meio ambiente (SILVA, 2006).

A integridade do concreto sob condições de serviço tem um papel fundamental para assegurar a impermeabilidade e a durabilidade da estrutura, por isso, a restauração é essencial para manter e retomar as características funcionais principais do concreto (HELENE e PEREIRA, 2003).

As estratégias de utilização e manutenção das estruturas de concreto, seja projetada, calculada, detalhada e construída sob considerações ambientais diversas, devem ser estabelecidas de acordo com a função requerida dos termos de utilização da estrutura (RECUPERAÇÃO, 2010).

Como o conceito anterior do concreto, ser perene, foi desfeito, os procedimentos de recuperação, visando resistência e durabilidade da estrutura, foram se desenvolvendo com cuidados e algumas técnicas de identificação de anomalias,

preparação da superfície a ser tratada e tratamento de trincas e fissuras (SILVA, 2006).

Há necessidade, por um lado, de conhecer, avaliar e classificar o grau de agressividade do ambiente e, por outro, de conhecer o concreto e a geometria da estrutura, estabelecendo então a correspondência entre ambos, ou seja, entre a agressividade do meio versus a durabilidade da estrutura de concreto (HELENE e PEREIRA, 2003).

A resistência da estrutura de concreto à ação do meio ambiente e ao uso dependerá, no entanto, da resistência do concreto, da resistência da armadura, e da resistência da própria estrutura. Qualquer um que se deteriore, comprometerá a estrutura como um todo. Portanto, hoje é conveniente e indispensável uma separação nítida entre os ambientes preponderantemente agressivos à armadura dos ambientes preponderantemente agressivos ao concreto, assim como identificar projetos de arquitetura e detalhes estruturais que aumentem a “resistência” da estrutura ao meio ambiente (SILVA, 2006).

Paralelamente a isso, a atuação em todas as fases dos projetos, arquitetônico-estrutural, execução, inspeção e manutenção se intensificaram. Além disso, os cuidados com a composição do traço do concreto, procedimentos de lançamento, adensamento e cura do concreto, se tornaram vitais para aumentar a capacidade da estrutura de resistir às intempéries e aos demais processos de degradação (RECUPERAÇÃO, 2010).

É importante que os responsáveis pelo empreendimento observe a edificação como algo que necessita de manutenções periódicas e a proteção de superfície é uma ferramenta que pode e deve ser usada nos trabalhos de manutenção. Esse conceito de manutenção e proteção precisa ser aplicado as edificações, o usuário precisa se conscientizar que uma edificação não é um bem eterno e sua durabilidade vai ser maior ou menor em função da manutenção realizada ao longo da sua vida útil (MEDEIROS, 2008).

No caso de uma estrutura de concreto armado, a proteção de superfície tem influência nos dois estágios da vida útil da estrutura (obras novas e obras antigas).

A eficiência de uma proteção superficial é diminuída ao longo do tempo de exposição ao meio ambiente. Desse modo, o caminho da boa preservação da estrutura de concreto está no estabelecimento de um programa de manutenção, considerando que cada material tem uma vida útil limitada, necessitando de renovação para garantir o nível de proteção requerido (MEDEIROS, 2008).

Além disso, é importante enfatizar que a escolha do material a ser especificado precisa estar baseada em dados técnicos e científicos, além de experiências anteriores. O profissional precisa ter consciência das vantagens e desvantagens de cada sistema de proteção para especificá-lo adequadamente e de forma compatível com o tipo e grau de exposição em que a edificação esteja inserida (HELENE e PEREIRA, 2003).

Este trabalho pretende rever algumas patologias mais frequentes em nossa região, sudeste. Assim como, mostrar algumas técnicas de limpeza da superfície antes da intervenção e a recuperação da estrutura.

### **3.2 Algumas técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado**

Com o passar dos tempos o conhecimento tecnológico de diversos materiais e técnicas de produção das edificações foram se expandindo para o concreto e seus métodos de cálculo. Mas, o domínio da execução acarretou a falta de controle na produção dos serviços provocando uma má qualidade no acabamento e insuficiência estrutural adequada à edificação (REIS, 2001).

As anomalias mais comuns são as fissuras, as manchas no concreto, a corrosão da armadura, as eflorescências e a segregação dos materiais constituintes do concreto (HELENE e PEREIRA, 2003). Devido aos vários fatores, alguns deles são: uso de material inadequado, definição da concepção do projeto errada, má execução e uso inadequado da edificação.

Conhecer as formas de manifestação das anomalias possibilita diagnosticar com êxito as diversas causas de problemas das obras de engenharia.

A recuperação de estruturas de concreto armado é uma atividade complexa que exige um conhecimento profundo do comportamento dos materiais e das técnicas executivas (HELENE e PEREIRA, 2003). Por isso, se houver alguns dos sintomas citados acima, o processo de degradação ocorrerá e trará comprometimento da estrutura.

Uma análise precisa da estrutura deverá apontar as causas do problema de deterioração do local, sendo assim, a qualidade dos serviços e o reforço da estrutura sugeridos terão viabilidade econômica na obra (SILVA, 2006).

Neste trabalho será mostrado a reabilitação em forma sequencial, sendo cada etapa necessária ou não, dependendo do tipo ou do grau de deterioração em que se encontra o material.

### **3.3 Sintomatologias das Estruturas de Concreto**

#### *3.3.1 Generalidades*

As estruturas, em si, devem ser consideradas como um produto externo e extremamente complexo, apresentando características diversas, das quais dependerá sua adequação a finalidade estabelecida no projeto, levando em consideração qualidade-custo (HELENE e PEREIRA, 2003).

O surgimento das patologias indica a existência de falhas na execução de umas das etapas da envolvidas no processo ou no controle de qualidade de uma ou mais atividades abrangidas (REIS, 2001).

Os problemas patológicos em estruturas de concreto podem surgir desde a concepção do projeto, como na utilização dos materiais, na execução e na utilização da estrutura. Mas, as causas são tantas e diferenciadas que fica difícil definir precisamente qual a atividade que tem sido a responsável pela maior quantidade de erros recorrentes (SILVA, 2006).

Alguns mecanismos de envelhecimento e de deterioração devem ser considerados mais importantes devido ao grau de importância de ocorrência, como lixiviação, expansão, reações deletérias e despassivação da armadura, somados ainda as ações mecânicas, térmicas, impactos, deformação lenta e outros (HELENE e PEREIRA, 2003).

#### *3.3.1.1 Mecanismos básicos da degradação*

A deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos. Os processos de degradação alteram a capacidade do material desempenhar as suas funções (RECUPERAÇÃO, 2010).

### 3.3.1.1.1 Lixiviação do concreto

As águas puras, carbônicas agressivas e ácidas são os mecanismos que provocam o veículo de difusão dos agentes agressivos, implicando na expansão e fissuração do concreto (REIS, 2001).

As reações de hidratação do cimento Portland produzem principalmente cristais C-S-H (silicato de cálcio hidratado), duros, resistentes e insolúveis na presença de água.

Produzem também cristais de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , cal hidratada/hidróxidos de cálcio e de magnésio, estes parcialmente solúveis em água, principalmente no caso de água corrente. Ao processo de dissolução e transporte da cal hidratada dá-se o nome de lixiviação. A lixiviação é nociva ao concreto por várias razões: com a remoção de sólidos, ocorre redução na resistência mecânica do material e abre-se caminho para a entrada de gases e líquidos agressivos às armaduras e ao próprio concreto, além da penetração de água e oxigênio que normalmente redundam na corrosão de armaduras em peças de concreto armado ou concreto protendido (MEDEIROS, 2008).



Figura 3.1 – Lixiviação (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)



### 3.3.1.1.2 Corrosão das armaduras

A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço. Esta película é causada pela presença de umidade no concreto, salvo situações especiais e muito raras, tais como dentro de estufas ou sob ação de elevadas temperaturas. No concreto armado, o aço encontra-se no interior de um meio altamente alcalino no qual estaria protegido do processo de corrosão devido à presença de uma película protetora de caráter passivo. A corrosão da armadura pode ser iniciada através da penetração de cloretos, carbonatação, dentre outros (SILVA, 2006).

Pela ação de cloretos observa-se que de maneira simplificada as reações que ocorrem são as seguintes: na zona anódica ocorrem as reações de oxidação do ferro, com perda de elétrons e redução de massa, na zona catódica, ocorre a redução do oxigênio, sem perda de massa do aço e deposição do óxido de ferro. Normalmente os elétrons migram via contato direto metal-metal, e os íons por difusão e migração, via solução. Para que a corrosão se instale é necessário e indispensável à presença de um eletrólito (a água, por exemplo), de uma diferença de potencial (que pode ser gerada por diferença de umidade, aeração e tensões no concreto ou no aço, entre outros) e a disponibilidade de oxigênio. Os íons cloreto não atacam o concreto, mas destroem a película passivadora e, em presença de água e oxigênio, iniciando o processo de corrosão (HELENE e PEREIRA, 2003).



Figura 3.2 – Pilar sobre o mar após 10 anos de construção, deteriorado devido aos efeitos da interação da carbonatação com íons e cloreto

(Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

No concreto, a concentração dos cloretos poderá ocorrer devido a presença dos componentes (aditivos, água e agregados) na mistura, ou por penetração, do exterior, através da rede de poros, como é o caso de ambientes marinhos (névoa salina). A quantidade de cloretos é incrementada temporalmente chegando, até mesmo, a atacar toda a superfície da armadura, podendo provocar velocidades de corrosão intensas e perigosas (SILVA, 2006).

A carbonatação ocorre com a penetração por difusão e reação com os hidróxidos dos poros do concreto, reduzindo o pH dessa solução (REIS, 2001).

Quando o concreto começa a carbonatar parte dos cloretos que estiveram combinados passam às condições de livres, podendo atingir o limite crítico. O ingresso de íons cloretos é acelerado e a sua capacidade de fixação pelo  $C_3A$  (silicato tricálcio, presente no cimento) é reduzida quando há ocorrência de

carbonatação, pois os cloroaluminatos não são estáveis em valores baixos de pH (HELENE e PEREIRA, 2003).



Figura 3.3 - Pilar em indústria com corrosão nas armaduras devido a carbonatação (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

#### *3.3.1.1.3 Reações álcali-agregados*

É a reação entre a sílica reativa, presente nos agregados, e os íons álcalis, como o potássio, sódio e hidróxido de cálcio, presentes nos cimentos, liberados durante a hidratação do cimento ou pela penetração de cloretos que contêm esses mesmos íons, produzindo um gel que absorve a água e expande-se, resultando

em fissuras (superficiais e profundas) e desintegração do concreto. Acarretando perda de resistência, diminuição do módulo de elasticidade e de durabilidade (HELENE e PEREIRA, 2003).

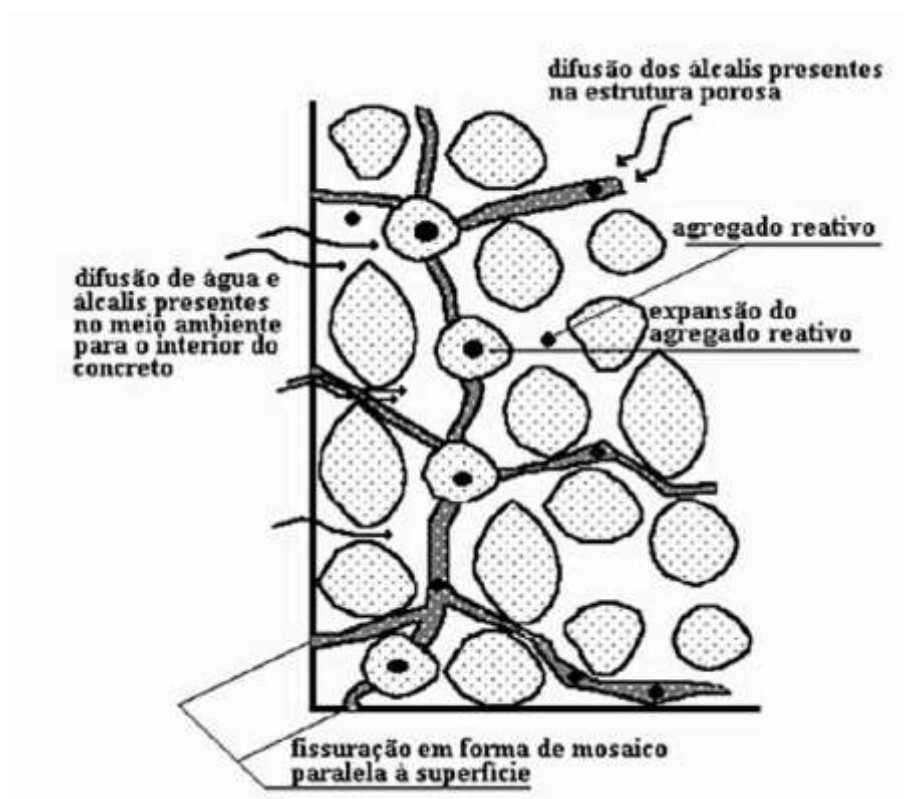


Figura 3.4 – Desenvolvimento da reação álcali-agregados no concreto  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)



Figura 3.5 – Mapeamento de fissuras em blocos de fundação devido a reação álcali-agregado (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

### 3.3.1.1.4 Ataque de sulfatos

A chuva ácida e a neblina em áreas urbanas possuem em sua composição sulfatos, nitratos, íons de amônia, chumbo, cobre, níquel e aldeídos, que podem ser muito agressivas ao concreto, se manifestando de maneira expansiva e com perda progressiva da resistência e da massa da estrutura (SILVA, 2006).

A melhor proteção contra o ataque de sulfatos é a baixa permeabilidade do concreto, que é obtida pelo alto consumo de cimento, baixa relação água/cimento e cura apropriada (REIS, 2001).

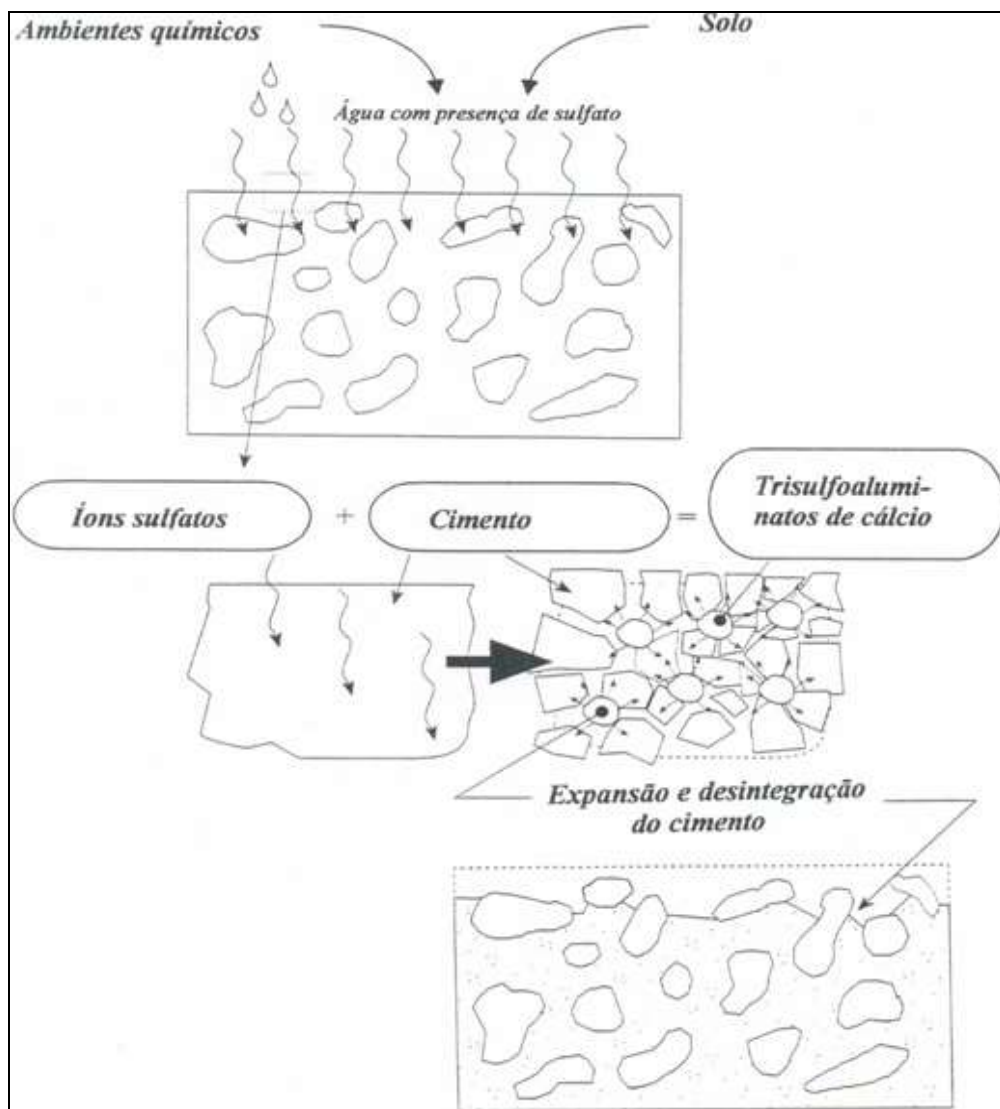


Figura 3.6 – Desintegração do concreto por ataque de sulfatos  
(Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)



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

A ação do fogo provoca alteração da cor e perda da resistência do concreto, sendo a ocorrência da degradação da estrutura por volta dos 600°C. Causando uma mudança volumétrica nas estruturas, e conseqüentemente, destacamento do concreto. (SILVA, 2006).



Figura 3.7 – Topo da chaminé de uma siderúrgica, deteriorada pela variação brusca de temperatura (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

A ação do congelamento, não são comuns no Brasil, provoca fissuração e o destacamento do concreto causados pela expansão da pasta de cimento (SILVA, 2006).

A introdução de ar no concreto reduz os riscos das ações provocadas pelo congelamento.

### 3.3.1.1.6 Deterioração por desgaste superficial

A erosão, abrasão e cavitação podem diminuir a vida útil do concreto. Para reduzir a erosão e a abrasão deve-se aumentar a resistência do concreto, diminuir a relação água/cimento e a consistência. Quanto à cavitação sugere-se evitar mudanças bruscas da declividade e irregularidades da superfície na elaboração dos projetos da estrutura (SILVA, 2006).



Figura 3.8 – Desgaste superficial por abrasão em pavimento de concreto  
(Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)



Figura 3.9 – Erosão em galeria de água pluvial (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)



Figura 3.10 – Desgaste por cavitação (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)



### 3.3.1.1.7 Biodeterioração do concreto

Os microrganismos, como algas, fungos, bactérias e outros, podem atuar sobre o concreto em ações deletérias contra o cimento e os agregados, reduzindo a durabilidade e a comprometendo a integridade da estrutura (RECUPERAÇÃO, 2010).



Figura 3.11 – Teto de galeria de águas pluviais contaminadas por esgotos apresenta manchas devido ao ataque biológico (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

Outra forma de ataque é raízes de plantas, algas e líquens nas zonas porosas do concreto, dando origem a forças expansivas que degradam o concreto, facilitando o transporte de outros agentes agressivos para o interior do concreto (RECUPERAÇÃO, 2010).



Figura 3.12 – Crescimento de raízes de plantas em fendas do concreto deterioraram a estrutura (Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

### **3.4 Intervenções nas Superfícies de Concreto**

#### **3.4.1 Polimento**

Quando a estrutura não se encontra com a sua textura original usa-se essa técnica para tornar a superfície menos áspera e sem partículas soltas, com a utilização de equipamentos mecânicos, como lixadeiras portáteis ou máquinas de polir pesadas quando a área a ser recuperada é muito extensa (SILVA, 2006).

Como é uma atividade que provoca muitos ruídos e uma quantidade elevada de pó, é necessária uma equipe com alto conhecimento da tecnologia que irá manejar esses equipamentos mecânicos e instrumentos adequados para a execução do serviço, lembrando sempre da preocupação com o meio ambiente e com os próprios operários (REIS, 2001).

### *3.4.2 Lavagens*

#### *3.4.2.1 Com aplicação de soluções ácidas*

O objetivo dessa lavagem é remover tintas, ferrugens, graxas, carbonatos, resíduos e manchas de cimento.

Quando a camada de revestimento é muito pequena, quer dizer pouco espessa, essa técnica não é aconselhável, devido ao fato do perigo de penetração do ácido na estrutura, dificultando posteriormente a remoção da solução. Assim como, não deverá ser utilizada esse tipo de lavagem em áreas próximas as juntas de dilatação ou outras que sejam agredidas facilmente pelo ácido. Nesses casos a lavagem mais apropriada será com a aplicação de soluções alcalinas (HELENE e PEREIRA, 2003).

A superfície do concreto armado deverá estar bem úmida para a aplicação da solução para que não haja a infiltração do produto. A aplicação ocorrerá por aspersão ou por uma broxa, de forma progressiva e em pequenas áreas, até que toda a área seja descontaminada, tomando-se sempre todas as precauções devidas ao tipo e complexidade do serviço (HELENE e PEREIRA, 2003).

Geralmente, a solução empregada é a de ácido muriático na proporção de 1:6 em água.

A reação borbulhante da solução cessada, lava-se com solução neutralizadora de amônia com água e depois com água natural no local aplicado, novamente, garantindo a total remoção das partículas sólidas e dos resíduos do ácido utilizado (SILVA, 2006).

Pode-se utilizar outros ácidos com a mesma finalidade e atingir o mesmo resultado eficiente de remoção, como:

- Ácidos fosfóricos e glicólicos;
- Plasma de nitrato de sódio e glicerina;
- Plasmas de nitrato e aspersão de cristais de hidrossulfato de sódio.

#### *3.4.2.2 Com aplicação de soluções alcalinas*

É idêntica a solução com ácido, tanto na limpeza como na aplicação, apenas com alguns cuidados diferentes. Principalmente, nos agentes, se existir agregados reativos no concreto pode acarretar alterações nas suas características, provocando uma reação álcalis-agregado (reação expansiva) (HELENE e PEREIRA, 2003).

Nessa aplicação não é necessário a preocupação com a espessura do revestimento até a armadura.

#### *3.4.2.3 Com aplicação de jatos d'água e de areia*

É a aplicação mais usual, são direcionados jatos de água fria potável alternadamente com jatos direcionais de areia limpa, seca e sem matéria orgânica. Se a superfície estiver muito gordurosa ou com manchas químicas, o ideal é que o jato seja de água quente com removedores biodegradáveis seguido por jato de areia, várias vezes (SILVA, 2006).

Utiliza-se um jato de alta pressão ou uma máquina de projetar concreto, e a mangueira deve ser mantida em boas condições de conservação para que não haja prejuízo na eficiência do serviço.

Nessa aplicação que é simultaneamente jato de água e de areia, a água é conduzida por uma mangueira até o injetor sobreposta entre o bico e a mangueira de areia, onde haverá a mistura dos componentes, idêntico ao processo do concreto projetado (HELENE e PEREIRA, 2003).

Logo após a finalização do tratamento de limpeza é indicado o uso de ar comprimido e de água fria no local antes da aplicação do material de recuperação (SOUZA e RIPPER, 2006).

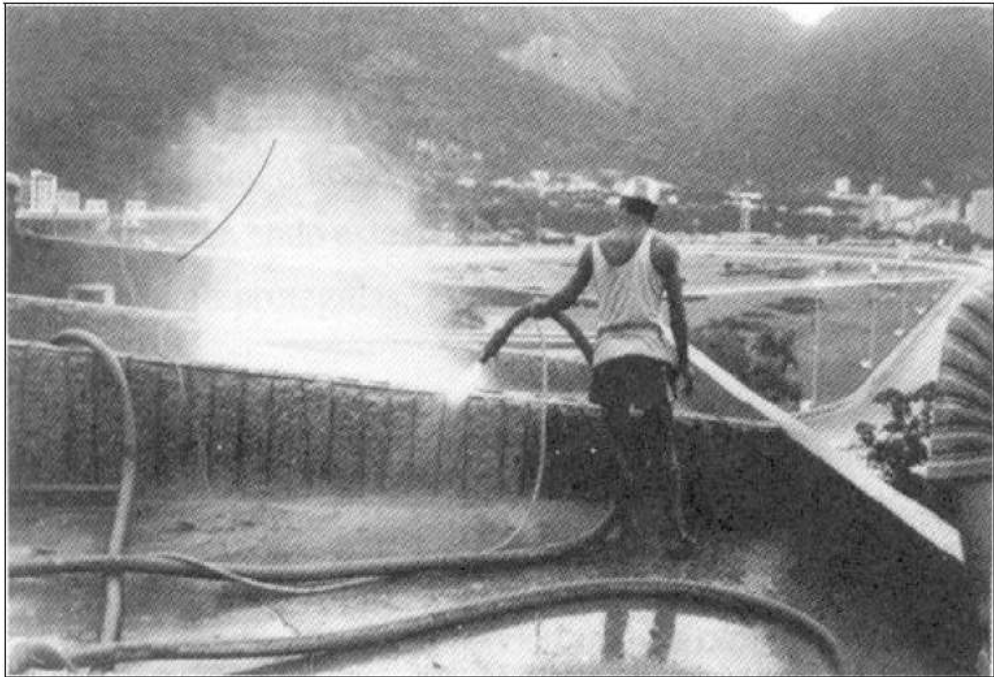


Figura 3.13 – Aplicação de jatos d'água na limpeza de superfície  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

### 3.4.3 *Limpezas especiais*

#### 3.4.3.1 *Jatos de vapor*

Tem por finalidade única remover da superfície impurezas minerais (sais) e orgânicas, como: graxas, óleos e tintas. Se a degradação da estrutura estiver muito aparente, com corrosão nas armaduras, deve-se utilizar junto com o vapor removedor biodegradável para diminuir a resistência a retirada das substâncias impuras (HELENE e PEREIRA, 2003).

A aplicação é idêntica ao de jato de água, só que tem que ter uma caldeira para a produção do vapor e uma mangueira revestida de amianto, para maior segurança do operador. Essa mangueira deve ser manuseada em movimentos verticais e horizontais na direção da superfície a ser limpa (SILVA, 2006).

#### 3.4.3.2 Jatos de ar comprimido

Geralmente, é uma aplicação complementar, quando o jato de água ou de areia não é eficaz na limpeza, e logo após o corte e o apicoamento da superfície, removendo todo o pó e partículas dos lugares de difícil acesso. Pode ser utilizada como secador de superfície ou fissuras antes da aplicação do substrato de reparação da estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

O filtro de ar e o óleo devem ser partes constituintes indispensáveis no compressor de ar comprimido.

#### 3.4.3.3 Escovação manual

Utilizada em pequenas superfícies com uma escova com cerdas de aço com auxílio de uma lixa de ferro em algumas aplicações e logo após deve-se usar o jateamento com ar comprimido (SOUZA e RIPPER, 1998).

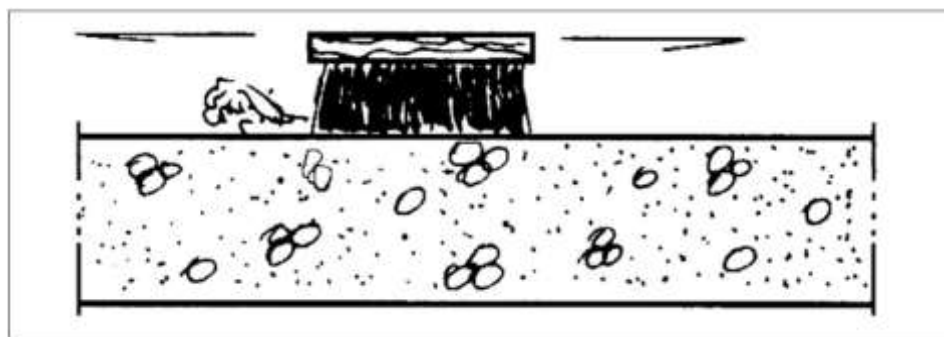


Figura 3.14 – Utilização de escova com cerdas de aço  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

#### 3.4.3.4 Escarificação

A escarificação é a retirada da camada de concreto degenerado da estrutura para complementar o revestimento existente, com material de recuperação em concreto ou argamassa, para aumentar a espessura do cobrimento (SILVA, 2006).

Essa retirada pode ser mecanicamente (martelos pneumáticos) ou manualmente (ponteiro, talhadeira ou marreta) a escolha do processo depende da profundidade de concreto que será removida e do grau de rugosidade e homogeneidade que se queira dar a superfície tratada (SOUZA e RIPPER, 1998).



Figura 3.15 – Equipamento utilizado na escarificação: Martelo pneumático  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)





Figura 3.16 – Remoção manual do concreto danificado  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

#### *3.4.4 Saturação*

Esse processo é meramente preparatório da superfície e tem por único objetivo dar uma melhor aderência a superfície a ser tratada, o tempo de saturação é de aproximadamente 12 horas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Lembrando que a superfície deve estar úmida, ou seja, a área não pode estar com muita água na superfície que será tratada.

#### *3.4.5 Cortes*

Se houver comprometimento do aço das armaduras deve-se remover profundamente o concreto danificado por meio de um martelo demolidor (massa entre 6 a 10 kg) indo além das armaduras em profundidade, pelo menos 2 cm ou o diâmetro da barra (HELENE e PEREIRA, 2003).



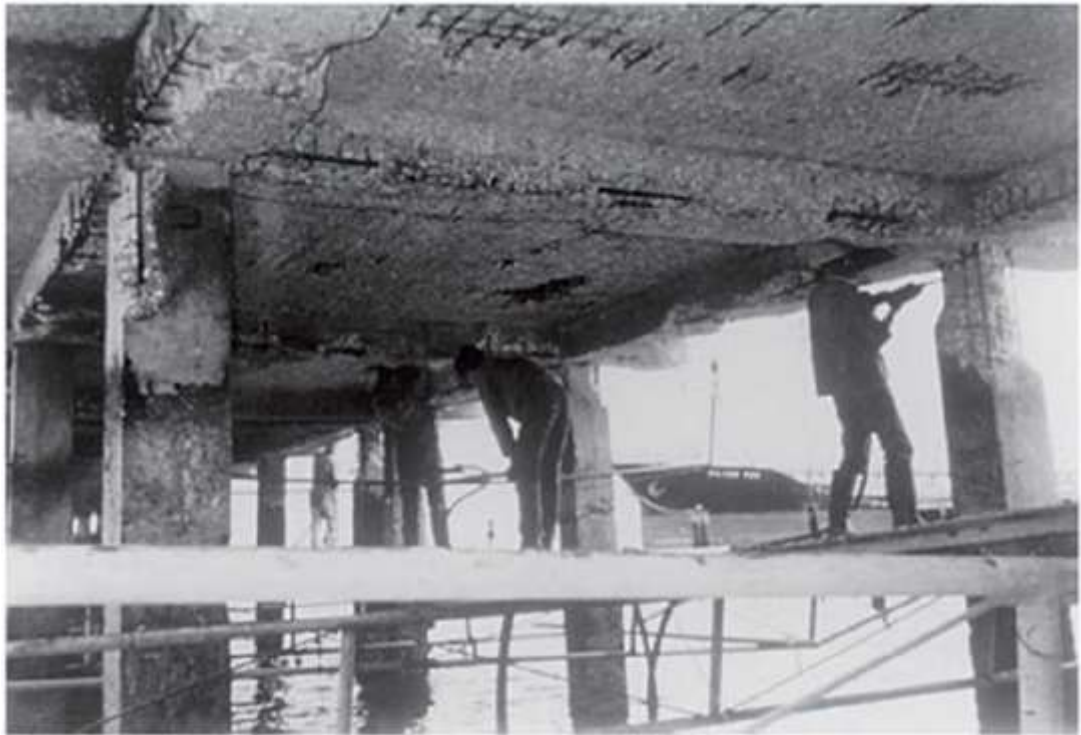


Figura 3.17 – Remoção de concreto danificado por corte  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

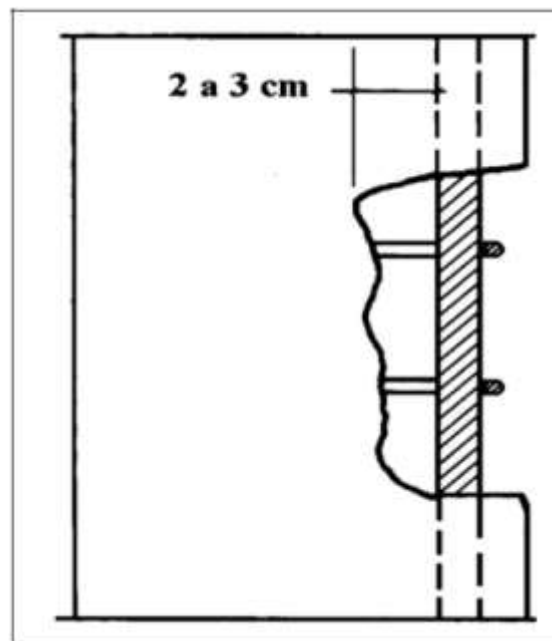


Figura 3.18 – Profundidade da remoção do concreto contaminado  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

Se necessário a estrutura deverá ser escorada ou até apoiada em um equipamento hidráulico, que suporte sua capacidade, para garantir a integridade da peça (SOUZA e RIPPER, 1998).

Após essa remoção, a superfície será limpa por: jatos de areia, ar comprimido e água, sucessivamente (SILVA, 2006).

O corte é interrompido quando não há sintoma ou detecção de contaminação do local a ser recuperado (SILVA, 2006).

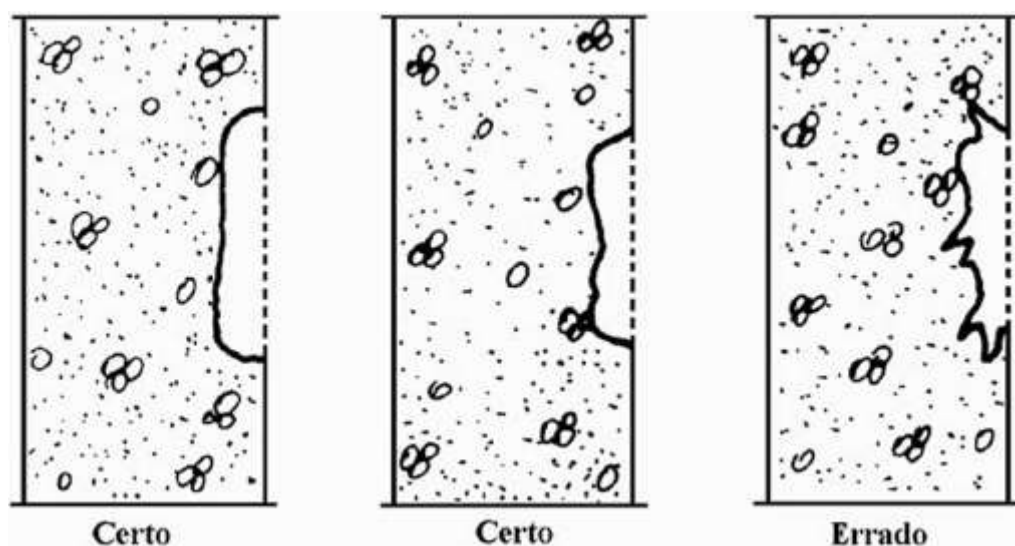


Figura 3.19 – Aspecto da cavidade do corte do concreto  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

#### 3.4.6 Discernir quanto a melhor intervenção

Para obter a melhor qualidade final de recuperação da estrutura deve-se adotar a melhor técnica de acordo com o tipo de patologia e com o trabalho bem aprimorado que será executado (HELENE e PEREIRA, 2003).

### **3.5 Tratamento das fissuras**

#### *3.5.1 Identificação da anomalia e escolha da técnica de intervenção*

A perfeita identificação da origem da fissura facilita encontrar o tratamento adequado dado a estrutura, verificando a necessidade de reforço ou não, dependendo do tipo (ativa ou passiva) e da espessura da trinca (THOMAZ, 1998).

O objetivo do tratamento é criar uma barreira impedindo o deslocamento de líquidos ou gases para a parte interna da estrutura, sendo assim, não deixando que o concreto e a armadura da peça se contaminem (SOUZA e RIPPER, 1998).

Quando a fissura é ativa deve-se vedá-la e cobrir todos os bordos externos com material elástico e não resistente, impedindo assim a degradação do concreto. Se for uma fissura passiva é necessário vedar a fissura com a injeção de um material aderente e resistente (resina epóxi) (SILVA, 2006).

#### *3.5.2 Injeção de fissuras*

Para fissuras superior a 0,1 mm a injeção é o procedimento mais adequado, sob uma pressão baixa ( $\leq 0,1$  MPa), se a abertura passar de 3,0 mm aconselha-se o enchimento por gravidade (SOUZA e RIPPER, 1998).

A técnica por injeção é o preenchimento total dos espaços entre as bordas da fissura, seja na ativa onde serão injetadas resinas acrílicas ou poliméricas, ou na passiva onde serão utilizados materiais mais rígidos, como epóxi ou grouts (HELENE e PEREIRA, 2003).



Figura 3.20 – Equipamento utilizado na técnica de injeção de fissuras  
(Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

No caso de fissuras inativas e em superfícies de grandes reparos e profundas o material mais usado é a resina epóxi, devido ao fato de serem produtos de baixa viscosidade, resistentes, com boa aderência e ótimo comportamento na presença de agentes agressivos, e também, rápida liberação da estrutura após sua aplicação (THOMAZ, 1998).

### 3.5.3 Selagem de fissuras

É a técnica de vedação para fissuras ativas. Utiliza-se um material aderente, resistente mecânica e quimicamente, não retrátil e com elasticidade suficientemente adequado para suportar a deformação da fissura (SOUZA e RIPPER, 1998).

Se usar um mastique como selante deve-se colocar um cordão de poliestireno extrudado no fundo do entalhe servindo de material de preenchimento e impedindo a aderência do mastique ao fundo da fissura (THOMAZ, 1998).

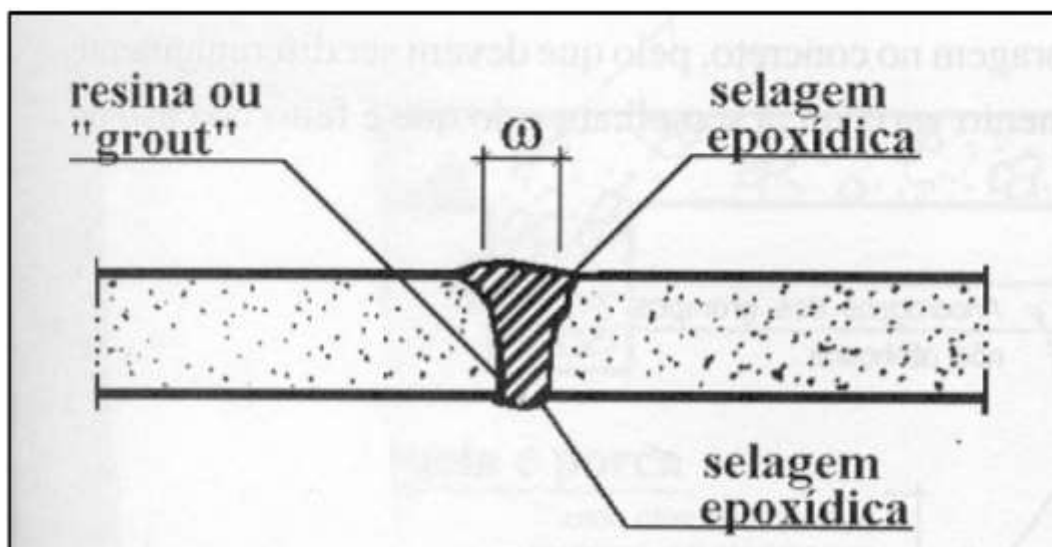


Figura 3.21 – Selagem de fendas com abertura entre 10mm e 30mm  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

#### 3.5.4 Grampeamento

O grampeamento é a adição de grampos, ou seja, armaduras colocadas em fissuras ativas que se desenvolveram em linhas isoladas. Essas fissuras, geralmente, possuem pouca resistência, e para conter esforços de tração que causaram essa fenda, são colocados grampos não alinhados, em toda a sua extensão (SILVA, 2006).

Deve-se fazer os furos e preencher com um produto adesivo, dispondo os grampos de aço de forma que não provoque a continuidade do esforço ou até uma nova fissura adjacente (SOUZA e RIPPER, 1998).

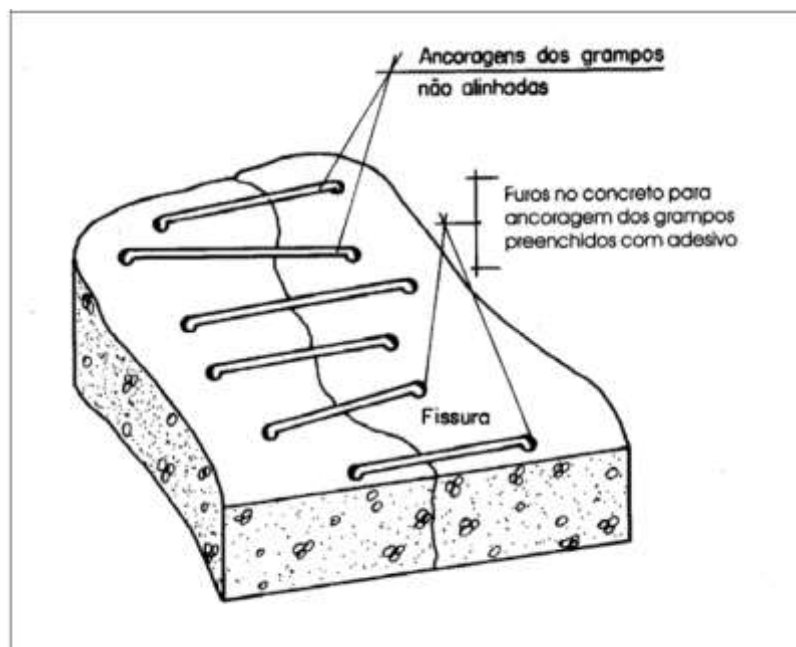


Figura 3.22 – Detalhe dos grampos não alinhados posicionados alternadamente  
(Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998)

### 3.6 Intervenção na estrutura

Tem por finalidade manter a integridade estrutural da peça, restabelecendo assim, as condições de segurança e desempenho da estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

#### 3.6.1 Recuperação com argamassa

Utilizada tanto em áreas pequenas como áreas grandes, contanto que não haja comprometimento da armadura interna da estrutura (SILVA, 2006).

##### 3.6.1.1 Argamassa de cimento e areia

Argamassa comum de cimento, areia e água, traço de 1:3 e fator de água/cimento de 0,45, utilizada para ocupar uma cavidade ou desgastes estruturais (HELENE e PEREIRA, 2003).

A espessura mínima de corte é 2,5 cm para reparos superficiais em áreas muito extensas. É aconselhável aplicar em uma faixa de no máximo 1,0 m de largura e 1,0 cm de espessura, para evitar os efeitos da retração (SILVA, 2006).

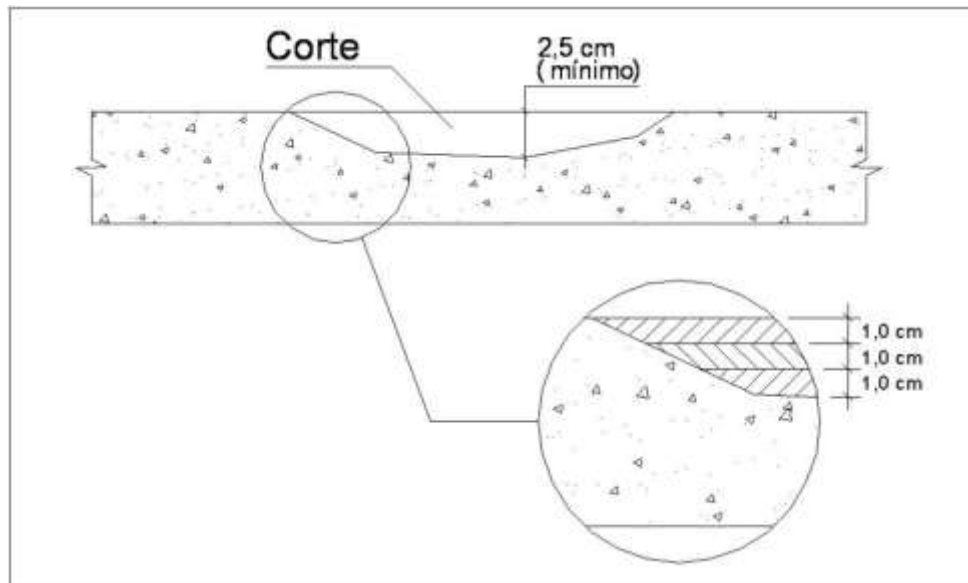


Figura 3.23 Detalhe das camadas de reparo e espessura recomendável do corte  
(Fonte: SILVA, 2006)

### 3.6.1.2 Argamassa “farofa”

Essa argamassa também, é com cimento comum, areia e água, e deve ser aplicada em camadas de no máximo 1,0 cm de espessura e sobre cavidades maiores que 25 cm, evitando sempre cavidades de difícil acesso e muito extensas (SOUZA e RIPPER, 1998).

São compactadas por meio de um soquete de madeira após a aplicação sobre o concreto original de uma camada de resina epóxi, poliéster ou cimento com adesivo acrílico para garantir a aderência do processo (HELENE e PEREIRA, 2003).

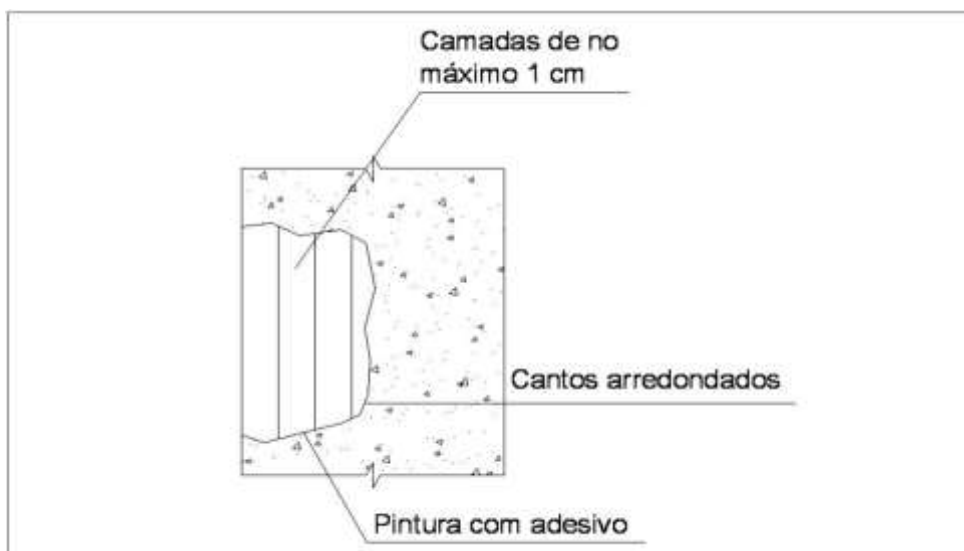


Figura 3.24 – Detalhe do reparo com argamassa "farofa"  
(Fonte: SILVA, 2006)

A cada duas camadas é recomendável colocar brita fazendo com que elas penetrem na argamassa, levando o transbordamento de toda a mistura e faz-se o acabamento com uma desempenadeira de madeira (SILVA, 2006).

#### 3.6.1.3 Argamassa com polímeros

É uma argamassa com adição de resina sintética polimérica que dá uma redução do consumo de água na mistura, mantendo a plasticidade e reduzindo a permeabilidade (SOUZA e RIPPER, 1998).

Geralmente, utilizada em recobrimento de armaduras já totalmente limpas e tratadas.

#### 3.6.1.4 Argamassa com epóxi

Os epóxios possuem elevada resistência mecânica e química, podendo ser usado na recuperação de vertedouros, canais, bordas de juntas de dilatação e em casos que o serviço tem que ser concluído rápido para liberar o acesso a estrutura (SILVA, 2006).



Quando a espessura da fissura é muito pequena e quando a estrutura tem que ser logo liberada, o ideal é usar uma argamassa epoxídica que possui um tempo de cura curto e uma ótima aderência ao concreto (SILVA, 2006).

A argamassa epoxídica pode ser convencional ou seca: a convencional em superfícies profundas ou semiprofundas e a seca é idêntica a argamassa “farofa” (SOUZA e RIPPER, 1998).

### *3.6.2 Recuperação com graute*

Possui altas resistências, boa fluidez, compacidade, uniformidade e auto adensável, e após 24 horas a fôrma já pode ser retirada, liberando rapidamente a frente de serviço (SOUZA e RIPPER, 1998).

### *3.6.3 Recuperação com concreto*

#### *3.6.3.1 Concreto convencional*

É utilizada na recuperação em preenchimentos de falhas de concretagem de estruturas recém-construídas ou até em estruturas deterioradas, quando as armaduras em ambos os casos, estão desprotegidas (SILVA, 2006).

A fôrma empregada nessa técnica deverá ter uma abertura (no formato de um cachimbo), facilitando o preenchimento do local. Após a retirada da forma, deve-se cortar o concreto excedente e regularizar à superfície para que ela fique lisa e bem acabada (SOUZA e RIPPER, 1998).

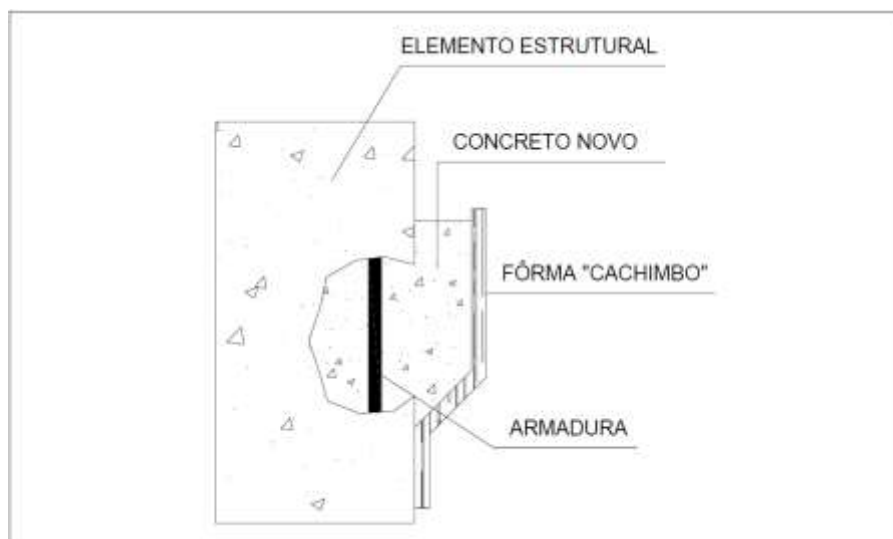


Figura 3.25 – Detalhe da fôrma cachimbo (Fonte: SILVA, 2006)

Deve-se usar aditivos expansivos, para evitar a retração do concreto e aditivos plastificantes no concreto para dar fluidez a mistura (HELENE e PEREIRA, 2003).

### 3.6.3.2 Concreto projetado

Não utiliza fôrmas, porque é um processo contínuo de lançamento de concreto por meio de um mangote sobre a superfície que será recuperada (SOUZA e RIPPER, 1998).

A força do impacto do material na superfície comprime a mistura, fazendo com que ela fique aderida à base.

As camadas de projeção não podem ser superiores a 50mm (SOUZA e RIPPER, 1998).



Figura 3.26 – Equipamento de mistura do concreto projetável  
(Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)



Figura 3.27 – Aplicação do Concreto projetável  
(Fonte: RECUPERAÇÃO, 2010)

Podendo ser empregado por via seca, onde o cimento e os agregados são misturados secos e no bico projetor é adicionada a água. A desvantagem é que o próprio operador dosa a quantidade de água acrescida (SOUZA e RIPPER, 1998).

Por via úmida, todos os componentes são misturados juntos e lançados pelo mangote até o bico projetor. Nesse processo a quantidade de água envolvida na mistura é bem controlada (SOUZA e RIPPER, 1998).

Após a limpeza da superfície, retirada de todo tipo de impurezas existentes, umedece a base e projeta-se uma argamassa com cimento, areia e água, antes da projeção do concreto projetável (SILVA, 2006).

A desvantagem desse tipo de concreto são as perdas na hora do lançamento, pois o mesmo é lançado com alta velocidade, facilitando a reflexão de parte do material, de acordo com a tabela 4.1 (SOUZA e RIPPER, 1998).

Tabela 4.1 – Perdas típicas de material do concreto projetável

<b>Superfície</b>	<b>% de material refletido</b>
Pisos.....	5 a 15
Paredes.....	15 a 30
Tetos.....	25 a 50

Fonte: Souza e Ripper (1998)

Não se deve reutilizar o material refletido, por causa de contaminação com impurezas ou até alteração da sua granulometria.

## 4. METODOLOGIA

Este trabalho é um estudo de caso de recuperação de um trecho do Ribeirão Arrudas, onde foram realizadas intervenções nas vigas transversinas, de coroamento, parede de diafragma e na laje de fundo. Sugeriu-se a adição de armadura na seção que estivesse muito degradada da estrutura, com aplicação de revestimento e selante, nas áreas com trincas e fissuras, em pontos deteriorados.

O estudo de caso descreve a elaboração das especificações técnicas para recuperação da laje de piso e demais elementos estruturais que constituem o canal revestido do Ribeirão Arrudas, no trecho compreendido entre a Av. do Contorno (Barro Preto) e a Rua dos Carijós.



Figura 4.1 – Detalhe do trecho entre a Av. do Contorno e a Rua dos Carijós  
(Fonte: GOOGLE MAPS, acesso 15/08/2015)

### 4.1 Coleta de dados

Este trecho do Ribeirão Arrudas foi coberto por uma laje de concreto, dando continuidade aos trabalhos de construção do chamado “Boulevard Arrudas”, sendo este tramo denominado “Boulevard 4”.

Inicialmente, foi elaborado um cadastro das patologias observadas na laje do piso (margens secas), paredes diafragmas, vigas de coroamento e vigas estroncas, além das vigas das travessias de tráfego. A partir dessas informações foram propostos os procedimentos executivos para recuperar as áreas danificadas, bem como proteger a laje de piso através da aplicação de camada de desgaste.

Somente após o ensecamento do curso d'água, quando o fluxo foi desviado para um corta-rio construído especificamente para este fim, foi possível visualizar e cadastrar as patologias existentes na área molhada da laje de piso que estavam submersas.

As patologias existentes nas vigas de coroamento e vigas estroncas foram avaliadas após a lavagem da superfície com água sob pressão.

#### **4.2 Características da estrutura**

Este trecho do Ribeirão Arrudas possui aproximadamente 1.216,0 metros de extensão, com 18,0 metros de largura, sendo a estrutura constituída por paredes laterais (paredes-diafragma) com altura média de 7,5 metros, dotadas de estrutura de coroamento na parte superior, onde existiam 68 vigas de travamento pré-fabricadas.

Este trecho não possui revestimento de fundo em toda a sua extensão, sendo que nos primeiros 170 metros de montante as águas do ribeirão correm sobre leito natural, sem laje de fundo. A parte revestida foi constituída por uma laje de concreto ( $f_{ck}=25$  MPa) com 25 cm de espessura, assentada sobre um lastro de 5 centímetros de concreto magro. A laje possui uma armação dupla (diâmetro  $\frac{1}{4}$ "), sendo a malha superficial instalada numa profundidade entre 5 a 8 centímetros.

O piso possui caimento para o centro, formando uma calha central de 1,83 metro de largura. Abaixo desta calha existe uma estrutura pré-fabricada, vazada, projetada para coletar as águas drenadas do terreno, detalhe na figura a seguir.



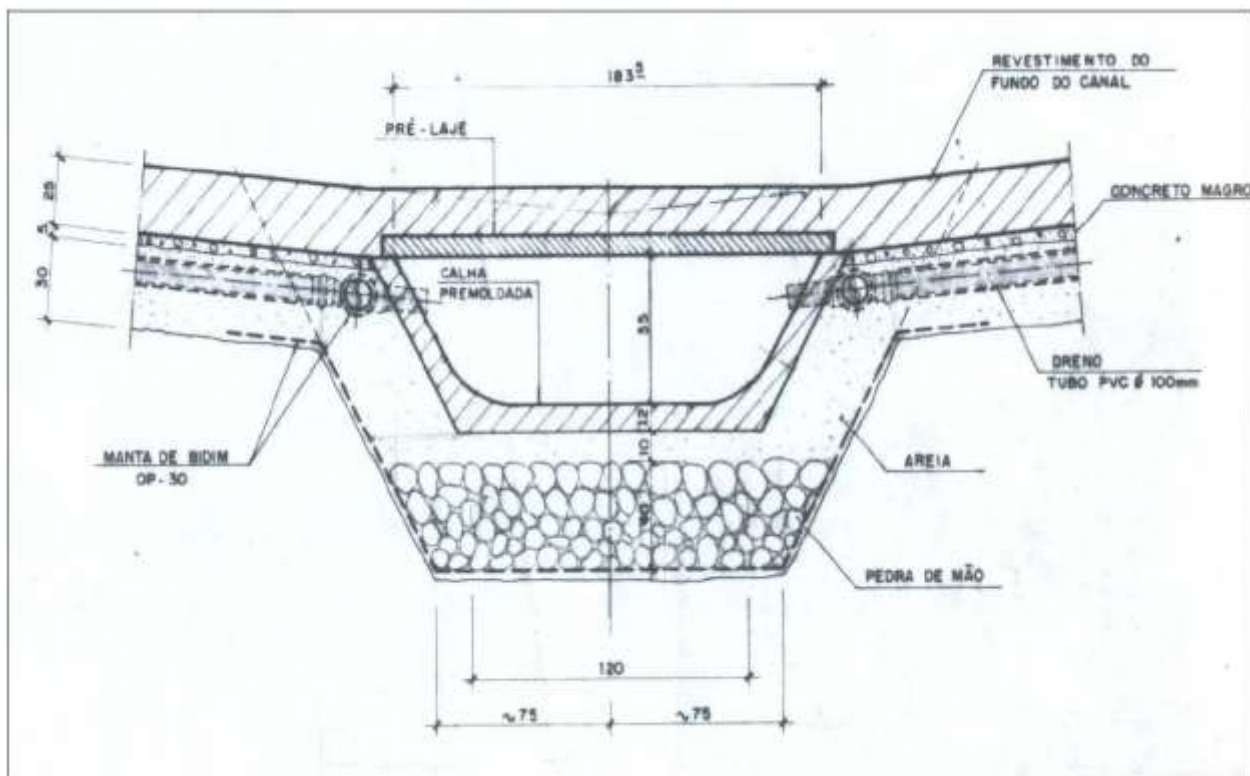


Figura 4.2 – Detalhe da calha central existente no canal  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

### 4.3 Metodologia utilizada

A inspeção utilizou o método visual para cadastramento das patologias. Os inspetores fizeram as observações trafegando pelas pistas de rolamento, que foram parcialmente fechadas para o trabalho, e andando sobre as margens secas da laje de piso, cujo acesso foi feito por escadas especiais.

No trecho sem laje de piso entre a av. do Contorno e a ponte da Rua Uberaba foi feito um levantamento topográfico da cota do NA e do fundo do canal.

## **4.4 Situação encontrada**

### **4.4.1 Margens secas da laje de piso (a partir da Ponte da rua Uberaba)**

O maior problema encontrado nas margens secas, fora da área permanentemente molhada, foi a presença de fissuras transversais na laje de piso, que propiciaram a instauração do processo de corrosão das armaduras que estão no alinhamento das trincas.

As trincas atingiram toda a espessura da camada de concreto, atuando como juntas de dilatação do piso. Pelas juntas, que possuem movimentação de retração e dilatação, portanto ativas, ocorre a penetração de água do fluxo do Ribeirão Arrudas, altamente contaminada por esgotos. Isto causou uma forte degradação das armaduras da laje de fundo, particularmente a malha superior, comprometendo o concreto do piso devido à expansão dos aços em processo corrosivo.

Em vários locais as faixas transversais sem concreto, abrangendo toda a espessura do piso nas duas margens.

Somente após o ensecamento foi possível visualizar as anomalias localizadas nas áreas submersas. O que se verificou é que a região da calha apresentava um desgaste acentuado em praticamente toda a sua extensão, variando de intensidade e severidade conforme o local, devido a velocidade e a química da água.

### **4.4.2 Paredes de diafragma**

As superfícies das paredes diafragmas apresentaram exposição de armaduras com corrosão de forma localizada, sendo a principal causa destas patologias a deficiência de espessura da camada de cobertura das armaduras. Foram identificados alguns pontos com presença de vegetação entre as paredes, que



criam tensões no concreto devido a expansão das raízes.

#### **4.4.3 Vigas de coroamento e estroncas**

As superfícies das vigas de coroamento e estroncas apresentaram também exposição de armaduras com corrosão em áreas localizadas, sendo a principal causa, assim como nas paredes, a deficiência de espessura da camada de cobrimento das armaduras.

A situação mais crítica foi encontrada em algumas vigas localizadas próximas do Elevado Castelo Branco, que apresentaram corrosão das armaduras com grande intensidade e severidade devido a queima de fios para retirada do cobre, procedimento feito na face superior das vigas, mas atingindo também as faces laterais.

Após a lavagem das superfícies com água sob pressão, quando todas as sujeiras, particularmente o lodo, foram removidas, foi possível visualizar melhor a extensão das patologias.

#### **4.4.4 Vigas das travessias de veículos**

Praticamente não foram identificadas patologias na face inferior das vigas das travessias de veículos por sobre o Ribeirão Arrudas.

#### **4.4.5 Trechos sem laje de piso**

No trecho sem laje de piso, entre a av. do Contorno e a ponte da Rua Uberaba, apresentaram-se com muitas variações de cota devido a presença de pedras e entulhos. Neste trecho não foram observados tirantes, indicando que as paredes diafragma possuem altura normal em terrenos não rochosos.

## **4.5. Especificações**

### **4.5.1 Procedimentos recomendados**

A seguir os procedimentos executivos que foram realizados pela empresa construtora, ressaltando a importância do acompanhamento das obras por parte da fiscalização/consultoria, particularmente da laje de piso, cujos reparos só podem ser definidos após o ensecamento do canal.

#### **4.5.1.1 Remoção das vegetações existentes**

Todas as vegetações existentes entre os painéis das paredes-diafragma foram removidas, cuidando de retirar também as raízes. O material removido foi transportado para bota-fora autorizado pela SLU (Serviço de Limpeza Urbana).



Figura 4.3 – Remoção da vegetação e sujeiras existentes no canal  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

#### **4.5.1.2 Tratamento das trincas transversinas nas margens secas da laje de fundo**

As trincas nas margens secas da laje de fundo foram transformadas em juntas secas, sem armaduras. Para isto foi retirada uma faixa de aproximadamente 20 cm de largura, sendo 10 cm para lado da trinca, abrangendo toda a extensão das trincas.

Utilizou-se um equipamento elétrico dotado de disco de corte de concreto, com capacidade para cortar 30 cm de profundidade, fazendo dois cortes paralelos de cada trinca, com distância de 20 cm entre eles, cortando toda a espessura da laje de fundo, aproximadamente 25 cm, inclusive as armaduras superior e inferior.



Figura 4.4 – Corte do concreto para tratamentos das trincas transversinas, utilizando equipamento de disco de corte  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

Verificou-se nas faces cortadas se a armadura está íntegra, sem corrosão. Caso fosse constatado algum indício de corrosão, seria necessário que a largura do corte fosse aumentada, de forma que ficasse na laje somente armadura íntegra, sem corrosão.

Utilizando rompedores pneumáticos foi demolido a faixa entre os cortes, cuidando para não danificar as bordas remanescentes e que não houvesse nenhuma contaminação de óleo no concreto remanescente.

O material demolido (concreto e armadura) foi transportado em carrinho de mão até caçambas colocadas na laje, que foram içadas e levadas para bota fora autorizado pela SLU.



Figura 4.5 – Demolição da faixa demarcada pelo disco de corte, utilizando rompedor pneumático

(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)



As faixas abertas foram reconstituídas de tal forma que a antiga trinca existente se transformasse em uma junta seca, sem armadura no contato das duas faces da junta. Para isto as cavidades foram reconstituídas com graute de cimento Portland em duas etapas. As argamassas poliméricas a serem utilizadas têm resistência à compressão de 25 MPa em 24 horas.



Figura 4.6 – Formação de junta seca entre o contato das duas faces da laje de piso, sem armadura, só argamassa  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

Na primeira etapa foi reconstituída somente uma das metades da cavidade, em toda a sua espessura, utilizando para isto uma fôrma (metal ou madeira) instalada no alinhamento central da faixa. No dia seguinte, retirada a fôrma, untada a face recém desformada com óleo queimado, e complementada o enchimento com graute.

Foi adicionado até 30% de brita 0, em peso (granito ou gnaiss), desde que estas fossem lavadas momentos antes da utilização, para que não absorvessem a água prevista para a reação com o graute. A mistura foi feita em betoneira.

A ordem de colocação dos produtos no misturador foi: água (de acordo com recomendações do fabricante), brita e por último o graute. A mistura foi de 5 minutos aproximadamente, para que os aditivos pudessem iniciar as suas funções. Foi previsto a quantidade de misturadores adequada para que o lançamento do graute fosse contínuo no interior da fôrma. A mistura foi feita próxima ao local de utilização, evitando o adensamento de transporte. Sempre observando se o material misturado não apresentava segregação ou exudação.

Para garantir a aderência do graute ao substrato, as faces do concreto da laje foram limpas, sem poeira ou partículas soltas, e saturadas e secas, sem empoçamentos ou água escorrendo. Imediatamente antes da aplicação do graute, o substrato recebeu a aplicação de uma calda composta de água e cimento. A aplicação dessa calda tem a finalidade de evitar a ocorrência de fissuras no contato do graute com o substrato remanescente.

O acabamento da superfície foi feito utilizando-se uma desempenadeira de madeira ou metálica.

Este trabalho foi feito em duas etapas, sendo a primeira realizada no trecho onde será executado o corta-rio, antes do ensecamento, e a segunda etapa, no restante das margens, depois da execução da barragem, detalhes nas figuras 4.7 e 4.8.

## RECUPERAÇÃO DA LAJE DE FUNDO RIBEIRÃO ARRUDAS

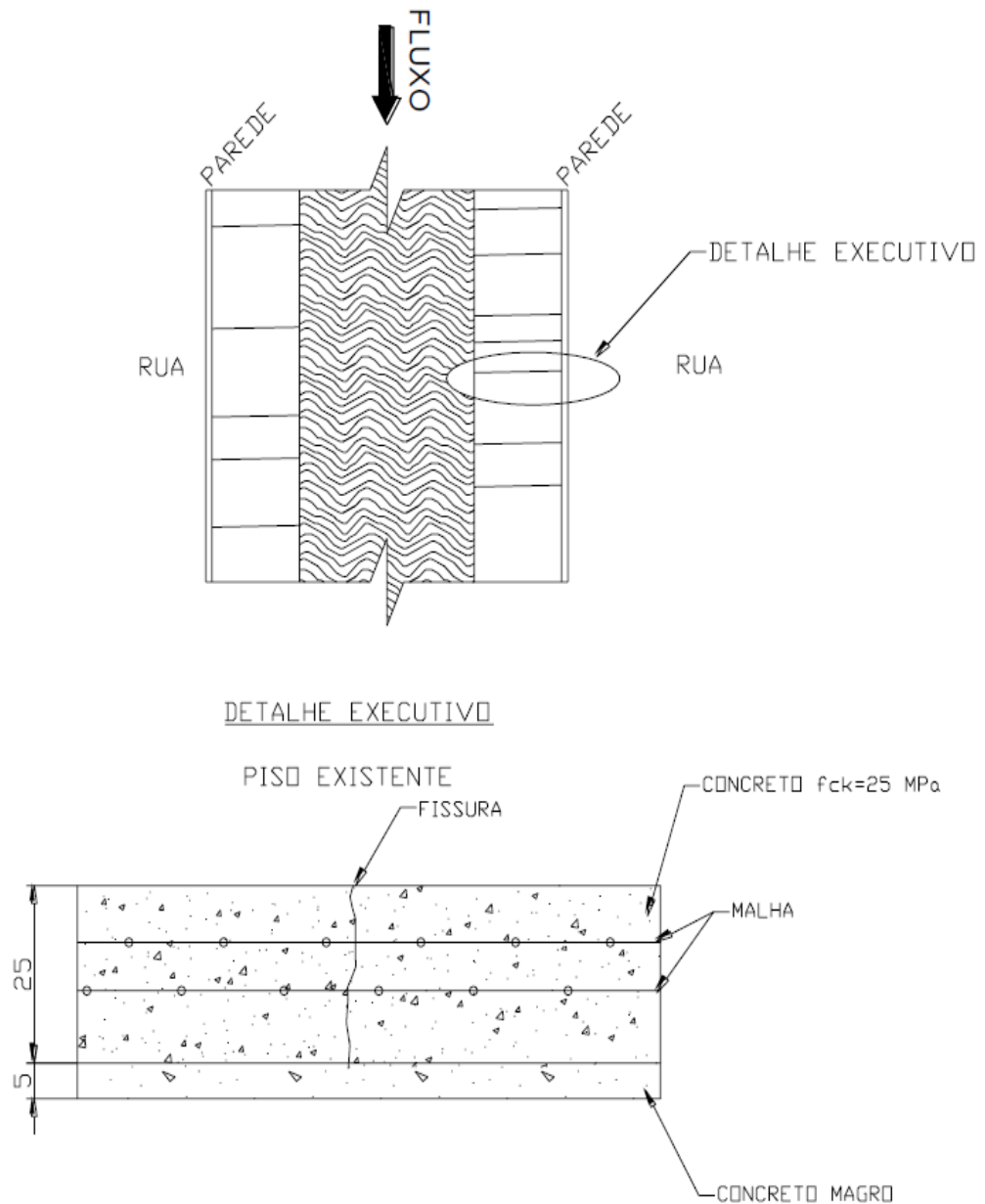


Figura 4.7 – Detalhe executivo da recuperação da laje de fundo do Ribeirão Arrudas (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

## ETAPAS DA RECUPERAÇÃO DAS FISSURAS

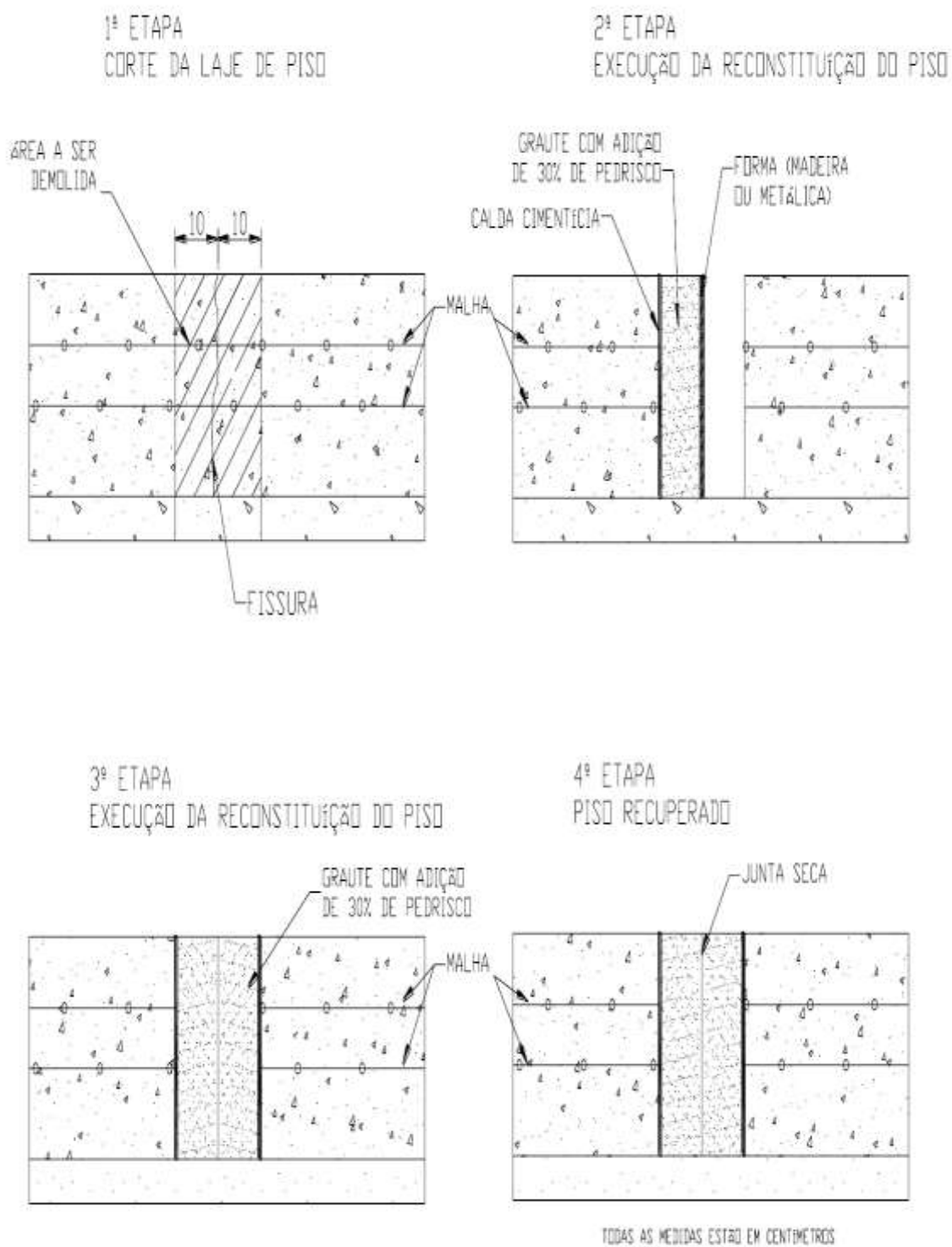


Figura 4.8 – Detalhe executivo das etapas de recuperação das fissuras  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)



Tão logo as superfícies expostas do graute dêem condições, era efetuado a aplicação de produto para cura química, com consumo mínimo de 0,4 kg/m<sup>2</sup>.

#### **4.5.1.3 Tratamento das faixas abertas**

As faixas abertas deixadas no piso pela empresa construtora foram preenchidas com o mesmo concreto utilizado para a capa de desgaste.

Removida todas as sujeiras e solo/lama na largura das faixas, abrangendo até uma profundidade de 25 centímetros, ou seja, a toda a espessura da laje de piso.



Figura 4.9 – Limpeza por jateamento de água com pressão removendo sujeiras na largura das faixas (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

As armaduras existentes foram limpas por jateamento de água pressão e preservadas.

Para a concretagem o subleito foi saturado e seco, ou seja, úmido e sem água empoçada ou lama. Se necessário, foi colocado um filme plástico sobre o

subleito, na largura da área a ser concretada.

O traço do concreto foi:

- ✓ cimento DURACEM AD 300 (350 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ cimento SILIMAX (150 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ areia artificial (548 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ brita de gnaiss (1129 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ água (185 l/m<sup>3</sup>)
- ✓ aditivo RHEOBUILD 1000 B (3 l/m<sup>3</sup>)

Utilizando régua “float” para melhorar o acabamento superficial do concreto e diminuir a rugosidade na superfície, além de melhorar a aderência com o substrato existente.



Figura 4.10 – Concretagem da laje de piso, utilização da régua “float” para melhorar o acabamento superficial (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

Após o acabamento da superfície, foi aplicada uma camada de produto para a cura química. Posteriormente, era feita a cura úmida por no mínimo 3 (três) dias,

utilizando-se de mantas de polietileno (lona plástica) ou mantas tipo bidim, para reter a umidade.



Figura 4.11 – Cura úmida com utilização de mantas tipo bidim  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

Todos os procedimentos citados foram desenvolvidos de forma que os trabalhos de recuperação e proteção do piso foram feitos rapidamente, dentro do prazo exíguo que este serviço exige e com o elevado grau de dificuldade de execução.

#### **4.5.1.4 Recuperação das áreas com armaduras expostas das paredes de diafragma e vigas de coroamento**

As áreas que apresentaram armaduras expostas nas paredes-diafragma ou nas vigas de coroamento foram recuperadas.

Primeiramente demarcando-se com giz de cera as regiões com armadura exposta.

Este procedimento teve por objetivo a orientar o operador de martetele a expor toda região da armadura que pertence a esta região de reparo, removendo os cobrimentos das armaduras, até localizar a região sã da mesma.

Retirando-se o concreto do cobrimento da armadura a partir do demarcado, expondo-se a barra somente o necessário para observar-se a presença da corrosão. A exposição da barra se dá ao longo da sua extensão até ter-se aproximadamente 5,0 cm de região sã (sem corrosão).

Com o objetivo de uniformizar a área de reparo e garantir uma espessura mínima nas bordas, as áreas que serão reparadas foram delimitadas com disco de corte.

Uma vez definidas as áreas e já executada a demolição do concreto deteriorado, procedeu-se a demarcação do perímetro de corte com lápis de cera. Devendo-se buscar uma delimitação de forma geométrica conhecida (quadrado, retângulo, etc.).

O corte foi feito com máquina elétrica dotada de disco diamantado (tipo Makita), para corte seco, numa profundidade mínima de 3 cm na laje de fundo e 1 cm nas demais áreas.

O disco de corte foi mantido na ortogonal à superfície, tomando-se os cuidados necessários para não danificar estribos e armaduras.

Após o corte, procedeu-se ao complemento do apicoamento ou demolição, nos trechos de concreto resistente, até o friso do corte.

Removendo o concreto da área delimitada com disco de corte, liberando as armaduras nesta região. Todo o material solto, desagregado e contaminado foi

retirado até atingir o concreto são.

A abertura das áreas foram removidas com apicoamento mecânico utilizando martelo rompedor elétrico, com potência de 900 watts, com 2.900 golpes por minuto, pesando 5,3 Kg no máximo. O apicoamento liberou totalmente o trecho corroído das armaduras, prosseguindo até encontrar o trecho são das barras, numa distância de aproximadamente 5 cm para cada lado, como faixa de segurança.



Figura 4.12 – Remoção das áreas contaminadas expondo a armadura, com a utilização de martelo rompedor pneumático  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

Foi feito um controle para garantir que a escarificação não estava sendo demasiadamente profunda, e se as barras estavam sofrendo ferimentos.

O concreto existente sob a armadura foi totalmente removido, de modo que, exista um espaço livre de 1,0 cm a 2,0 cm, para permitir a perfeita limpeza da



barra de aço e o completo preenchimento da cavidade com o material de reparo selecionado.

As armaduras foram limpas, através da completa remoção dos produtos de corrosão existentes sobre as barras, nas áreas de reparos.

Escovando manualmente com lixa de aço combinada com escova de cerdas metálicas. O objetivo foi a remoção de todos os produtos de corrosão, lixando e escovando a superfície até atingir o brilho metálico. Para aumentar a velocidade dos trabalhos, foi utilizado equipamento de hidrojateamento.



Figura 4.13 – Limpeza da parede de diafragma, utilizando jateamento de água com pressão (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

Este procedimento foi executado imediatamente anterior aos procedimentos de fechamento do reparo, de forma a não expor as armaduras, já limpas, por um período não superior a 24 horas.

Após a limpeza da armadura, verificou-se o nível de perda de seção da barra de aço. Quando constatada uma perda superior a 20% da seção original foi feita a colocação de armadura de complementação.



Figura 4.14 – Exposição da armadura e verificação do nível de perda de seção  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

As emendas entre as barras de complementação e as existentes foram feitas de forma a contemplar o menor comprimento longitudinal possível, para que não houvesse necessidade de remoção adicional de concreto, e mínimo espaço transversal, para minimizar a obstrução na aplicação dos materiais cimentícios.

Nos casos em que houve espaço para fazer o traspasse, este sempre foi o tipo de emenda mais recomendável, procurando-se defasar os pontos de emenda. Quando isto não foi possível, as barras de complementação, em formato de grampo, foram ancoradas em concreto sã, em área adjacente, com ancoragem mínima de 5 cm, e fixadas com resina epóxi.

O substrato foram convenientemente preparado para receber as argamassas especiais de reparos superficiais.

Para isto foram retirados todos os resíduos de concreto e pó que permaneceram sobre a superfície apicoada, utilizando jato de água, que além da limpeza, promove a saturação do substrato.

Para garantir a aderência com os materiais de reparo, foi necessário que o substrato possuísse superfície limpa, íntegra, saturada e seca. Para conseguir a saturação foi necessário molhar constantemente, por um período prévio, de forma que a superfície não absorvesse mais a água. No momento da aplicação da argamassa a cavidade não poderia apresentar água escorrendo ou empoçada, ou seja, a superfície saturada deveria estar seca. Para avaliar a qualidade da saturação utilizando uma brocha e jogou-se água no substrato, observando se existia ainda alguma absorção. Se positivo, significaria que a saturação ainda não foi suficiente.

Para o preenchimento dos reparos até 5 centímetros de profundidade foram utilizados argamassas poliméricas, pré-dosadas pelo fabricante, com retração compensada para evitar fissuras. Para o preenchimento de reparos com profundidade, acima de 5 centímetros, foram utilizados grautes cimentícios, pré-dosados pelo fabricante.

As misturas dos componentes das argamassas seguiram rigorosamente a orientação do fabricante. Elas foram homogeneizadas mecanicamente por um período de 4 a 5 minutos, obrigatoriamente em betoneiras (grautes) ou argamassadeiras (argamassas poliméricas), de forma que a massa se apresentasse completamente homogênea.

As argamassas, depois de misturadas, foram utilizadas no prazo máximo de 40 minutos (dependendo da temperatura ambiente).



A argamassa polimérica foi aplicada manualmente, em camadas sucessivas de espessura de até 1,0 cm, pressionando-se bem o material para eliminar todos os espaços vazios e preencher completamente a cavidade de reparo.

O operador colocava uma quantidade suficiente de argamassa nas mãos, e com movimentos circulares fazia uma bola, que era pressionada contra o substrato e espalhada pela cavidade. Este mesmo trabalho foi também executado utilizando-se a colher de pedreiro.

Toda cavidade foi preenchida com um excesso de 1 cm aproximadamente. Aguardando-se o início do processo de pega da argamassa, quando então se efetuava o sarrafeamento com régua metálica, retirando-se o excesso. Em seguida era realizado o acabamento superficial, utilizando-se uma desempenadeira de madeira ou metálica.

Nas áreas onde a exposição de armadura foi devida a deficiência, ou mesmo inexistência, de cobrimento, a espessura mínima sobre as armaduras foi de 1,0 cm.

Nos reparos profundos o graute de cimento Portland foi vertido por detrás de uma forma de madeira, devidamente calafetada. Utilizando um cachimbo, construído na parte superior da forma, para aumentar a pressão hidrostática do fluido, garantido o preenchimento de todos os vazios.

Após esses reparos foi feita a aplicação de uma camada de concreto projetado para reforçar a parede diafragma e aumentar sua capacidade portante.



Figura 4.15 – Reforço da parede de diafragma com concreto projetado  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

A cura foi feita através de agente de cura química.

#### **4.5.2 Tratamento das vigas estroacas**

As vigas estroacas foram recuperadas e protegidas, pois são os elementos mais esbeltos e frágeis da estrutura do canal.

Quando ocorrer o fechamento do canal haverá um enclausuramento dos gases liberados pela fermentação dos esgotos presentes na água poluída do ribeirão, criando um ambiente que acelera a degradação do concreto. Como as vigas são os pontos mais fracos da estrutura, elas devem receber proteção adicional para aumentar a vida útil.

A recuperação das armaduras expostas foi feita de forma análoga ao tratamento feito nas paredes-diafragma e vigas estroacas (ver item 4.5.1.4).



Figura 4.16 – Recuperação das vigas estroacas, idêntica a parede de diafragma  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

Houve uma aplicação de inibidores de corrosão de atuação anódica e catódica nas vigas estroacas, seguida por uma pintura de reparo mineral. Os inibidores são aditivos líquidos que atuam como proteção anticorrosiva das armaduras do concreto, aumentando significativamente a vida útil dos elementos estruturais, atuando na inibição tanto da reação catódica quanto da anódica do processo de corrosão.



Figura 4.17 – Limpeza das vigas estroncas, idêntica a parede de diafragma  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

São dois os sistemas de inibidores de corrosão. Um foi aplicado na região onde foram realizados reparos, sendo o produto misturado na argamassa de preenchimento (graute ou argamassa polimérica), enquanto o outro foi aplicado no restante da superfície do elemento de concreto, onde não houvesse reparo, através de impregnação da superfície.

#### **4.5.2.1 Inibidor de corrosão misturado nas argamassas poliméricas ou graute**

Na área onde houvesse a intervenção de reparo o produto inibidor de corrosão foi misturado com a argamassa de preenchimento, argamassa polimérica ou graute.

A aplicação do aditivo inibidor de corrosão foi feita à uma taxa em torno de 350 ml por saco de argamassa, misturado diretamente na água de amassamento, no momento do preparo.

#### 4.5.2.2 Inibidor de corrosão para superfícies

Nas áreas onde o concreto aparente estava íntegro, sem intervenções de reparo, o produto inibidor de corrosão foi aplicado por impregnação na superfície do elemento.

Foi preciso fazer uma limpeza das superfícies de forma a remover as impregnações, sujeiras, desmoldantes, graxas, óleos, resquícios de pinturas e demais obstáculos existentes que possam prejudicar a penetração do produto no concreto. Este tratamento foi feito com água sob pressão, podendo ir de 2000 a 5000 psi, dependendo da dificuldade para a remoção das impregnações.

Aguardando a secagem da superfície, pois quanto mais seco, maior é a eficiência de penetração do produto. A aplicação foi feita com rolo de lã de carneiro ou pistola pneumática de baixa pressão.



Figura 4.18 –Aplicação do inibidor de corrosão, utilizando pistola pneumática de baixa pressão (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

O número de demãos dependeu da absorção do substrato, sendo normalmente aplicadas de 3 a 5 demãos para se obter a saturação necessária. O intervalo entre as demãos foi de no mínimo duas horas. O consumo variou entre 300 a 500g/m<sup>2</sup>, pois dependeu da porosidade e compacidade do concreto.

Como a superfície tratada iria receber uma pintura de proteção foi preciso lavá-la dois dias após a aplicação do inibidor de corrosão. Foi então deixado secar por 7 dias, e depois lavada novamente com água sob pressão e deixada secar por mais três dias. Após o que estava liberada para a execução da pintura final de proteção.

#### **4.5.2.3 Pintura das estroncas**

Com o objetivo de proteger as estruturas de concreto contra as agressividades do ambiente foi aplicado um revestimento com pintura mineral.

Tratando-se de um revestimento cimentício, constituído por resinas sintéticas, cimento Portland, areia de quartzo e aditivos especiais. Aplicado como pintura nas faces laterais e de fundo das vigas.

Misturou-se os componentes do produto de forma homogênea, possibilitando sua aplicação com uma brocha. Caso a superfície estivesse muito irregular aumentou-se o pó até formar uma consistência pastosa para aplicação de espátula.

Foi fundamental que a mistura dos componentes fosse feita durante todo o período de aplicação da pintura, evitando sedimentação das partículas acrílicas, reduzindo a qualidade da pintura, ou seja, enquanto houvesse tinta na vasilha, a mistura não pode parar.

O consumo teórico, variando de acordo com a regularidade do substrato, foi de 0,600 Kg/m<sup>2</sup>.

Da sua superfície foram removidas todas as poeiras, agentes de cura química, desmoldantes, enfim, qualquer produto que pudesse prejudicar a aderência com o substrato.

#### **4.5.3 Ensecamento da laje**

O fluxo do Ribeirão Arrudas foi desviado para um corta-rio lateral. Para isto foi construída uma barragem, feita em estrutura metálica, dotada de comportas metálicas, de fácil içamento, que foram levantadas assim que forem detectadas chuvas na cabeceira do ribeirão, evitando seu represamento.

A barragem foi dimensionada para suportar uma altura de represamento de 2,40 metros na parte central e 1,50 metros no bordo.

A estrutura metálica foi fixada no piso por chumbadores metálicos, para garantir a estabilidade do sistema estrutural, deixando a superfície de contato barragem/piso perfeitamente nivelada, para evitar a passagem de água por baixo da estrutura.

O corta-rio foi composto por peças pré-moldadas de concreto armado, conforme figura abaixo, sendo fixadas por quatro chumbadores dimensionados para suportar uma carga de tração de 1,35 tf/m.



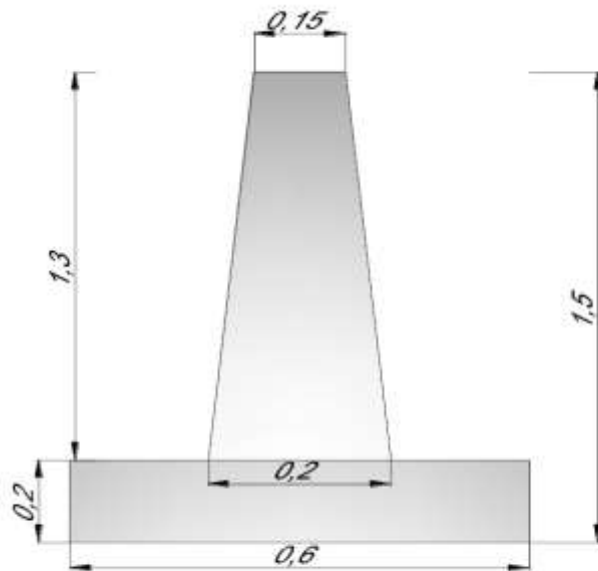


Figura 4.19 – Detalhe do corta-rio (peças pré-moldadas de concreto armado, medidas em metro) (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)



Figura 4.20 – Ensecamento da laje de fundo, colocação do corta-rio (Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)



#### **4.5.4 Limpeza das superfícies da laje de fundo**

Após o ensecamento do leito todas as superfícies da laje de fundo foram limpas com objetivo retirar todas as sujeiras e impregnações. Somente após esta limpeza foi possível iniciar os trabalhos de recuperação, pois o substrato deveria estar totalmente limpo para possibilitar a visualização das patologias existentes.

Procedeu-se jateamento com água sob pressão com equipamento tipo lava-jato com bico direcional, com pressão mínima de 14 MPa (2000 psi) e mangueiras de alta pressão com engates rápidos.

Iniciou-se a limpeza pelas partes mais altas, procurando manter uma pressão adequada para remoção das partículas soltas. Executando movimentos circulares com o bico do jato para facilitar a limpeza de toda a superfície.

Foi utilizada água limpa, isenta de qualquer impureza que pudesse contaminar a superfície do concreto.

#### **4.5.5 Aplicação da camada de desgaste do piso**

O primeiro procedimento foi ensecar completamente as áreas de trabalho. Este serviço envolveu não só o fluxo principal, mas também os fluxos secundários que têm origem nas contribuições ao longo do canal, nas juntas das paredes diafragmas ou do interior da calha pré-moldada. Para o ensecamento foram utilizados sacos de areia, tubulações de PVC, bombas elétricas, etc.

Depois de devidamente ensecado, todas as barras de aço que não estavam aderidas ao substrato, estando afloradas e causando a retenção de lixo, foram cortadas manualmente com tesourão e removidas do canal, sendo que o corte foi feito bem rente ao piso.

A consultoria/fiscalização da obra estava presente durante todos os trabalhos para definir “in loco” os procedimentos, por causa das particularidades de cada trecho, visto que o nível de desgaste foi bastante variado.

Devido ao desgaste generalizado que foi encontrado ao longo da calha e na parte interna das curvas, foi feita uma capa de desgaste abrangendo todas as áreas que apresentam deterioração acentuada, com largura em torno de 10 metros, ressaltando-se que esta largura é muito variável. Esta capa foi constituída por uma camada de concreto com espessura variando entre 5 a 10 centímetros.

Executando delimitação das áreas que receberam a capa de desgaste, através de demarcação com tinta.

Após a delimitação e para evitar ressaltos entre o substrato existente e a capa de desgaste, foi feito um corte para encaixe da capa. Para isso executando um corte longitudinal com máquina tipo “clipper” com profundidade máxima de 5cm, ao longo das duas bordas extremas da capa. Caso o corte de 5 cm viesse a seccionar a malha existente, este corte seria feito menor e o restante do ressalto feito com martetele, até se atingir os 5 cm. Após o corte foi feito um desbaste de 50 cm, por demolição mecanizada, fazendo um triângulo, de forma que a espessura mínima de capa seja de 5 cm.

Após a saturação e limpeza do substrato e imediatamente antes da aplicação do concreto da capa de desgaste, promoveu-se a aplicação de ponte de aderência utilizando adesivo acrílico modificado com polímeros. A mistura recomendada foi composta:

1 parte de cimento

1 parte de resina acrílica (diluição 1:2 – resina:água)

A consistência foi pastosa, de forma a se aplicar com brocha ou vassoura. Foi importante observar que o concreto a ser aplicado foi lançado sobre a ponte de aderência úmida, ou seja, ainda no estado fresco. Caso a ponte de aderência

endurecesse ou secasse, seria necessário realizar lixamento de forma a remover a ponte original e seria executada nova aplicação da ponte de aderência.

Imediatamente após a aplicação da ponte de aderência, promoveu-se o lançamento do concreto com resistência à compressão em 24 horas de 25 MPa, e fator água/cimento de 0,37.

O traço do concreto foi:

- ✓ cimento DURACEM AD 300 (350 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ cimento SILIMAX (150 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ areia artificial (548 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ brita de gnaiss (1129 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ água (185 l/m<sup>3</sup>)
- ✓ aditivo RHEOBUILD 1000 B (3 l/m<sup>3</sup>)

Utilizou-se régua “float” para melhorar o acabamento superficial do concreto e diminuir a rugosidade na superfície, além de melhorar a aderência com o substrato existente.

Após o acabamento da superfície da capa, aplicou-se uma camada de produto para a cura química. Posteriormente, era feita a cura úmida por no mínimo 3 (três) dias, utilizando-se de mantas de polietileno (lona plástica) ou mantas tipo bidim, para reter a umidade.

Todos os procedimentos citados foram desenvolvidos de forma que os trabalhos de recuperação e proteção do piso fossem feitos rapidamente, dentro do prazo exíguo que este serviço exige e com o elevado grau de dificuldade de execução.

A capa foi lançada sobre fissuras e as juntas existentes, que tendem a se propagar, fissurando-a e criando juntas espontâneas, que não interferirão na durabilidade da capa, pois em áreas submersas não há corrosão das armaduras.

A calha pré-moldada foi minuciosamente inspecionada. As partes danificadas ou fragilizadas foram recuperadas antes do início das concretagens.

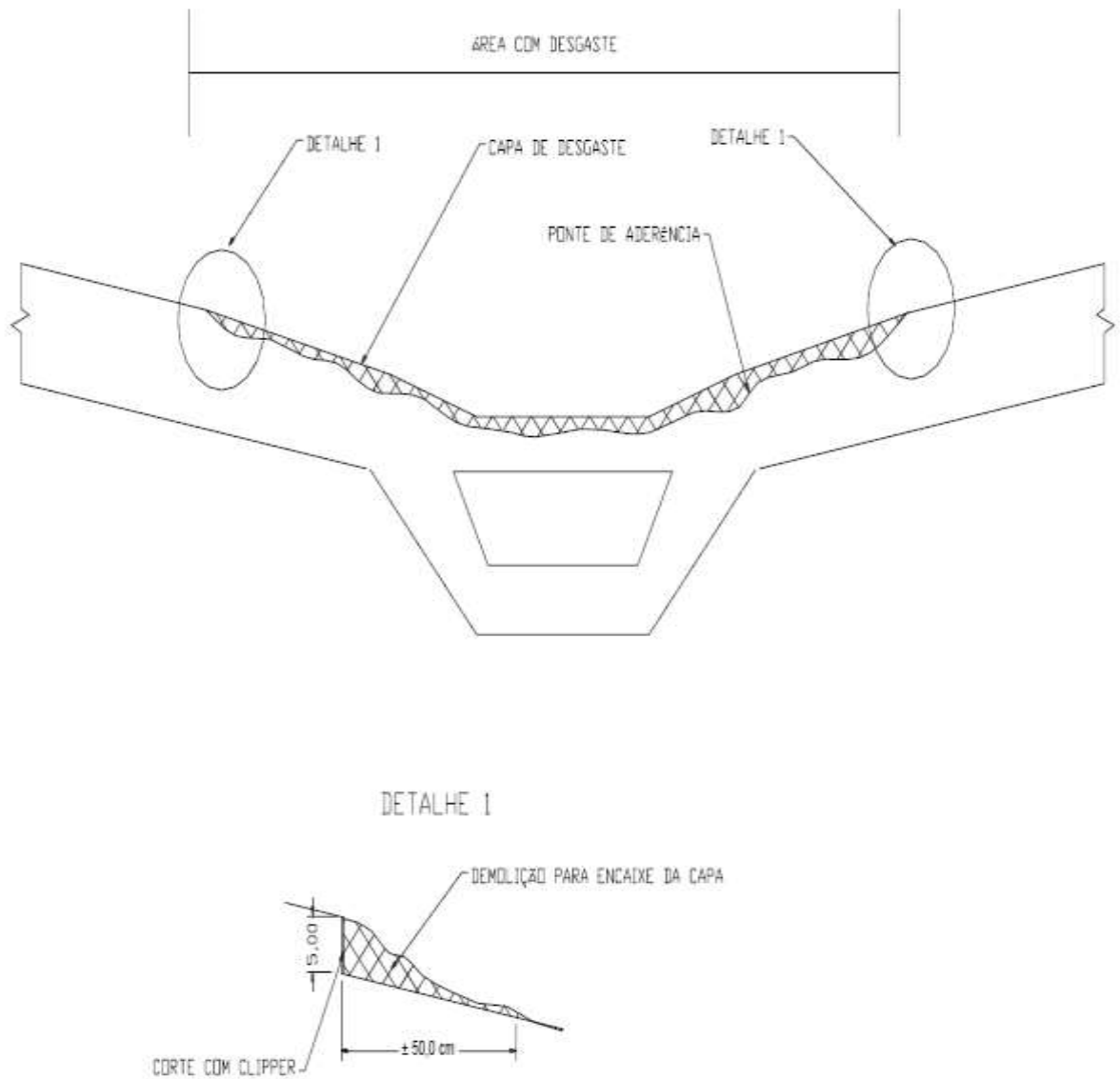


Figura 4.21 – Detalhe da calha pré-moldada  
(Fonte: ACERVO PESSOAL, 2009)

## **5. CONCLUSÕES**

Nas técnicas de recuperação e reforço estrutural ao passar dos anos surgem novas metodologias e novos conceitos no âmbito de equipamentos e tecnologia.

Mas, a escolha correta do tipo de intervenção e a sequência que serão realizadas, assim como seus procedimentos necessitam de um estudo preliminar minucioso sobre as patologias presentes na estrutura, sendo indispensável no prolongamento da vida útil da estrutura a ser recuperada.

As patologias ocorrem devido a erros de execução, de projeto ou até como consequência da execução dos serviços. Além disso, existe outro fator que é de fundamental importância, que é a falta de manutenção periódica das obras.

A identificação das causas reais de uma patologia é um processo complexo, podendo ser vários os fatores e esses fatores trazendo causas diversas, dependendo do ambiente, modo de execução, materiais utilizados e suas especificações.

Portanto, as técnicas e procedimentos a serem aplicados poderão ser os mais variados, dependendo de cada situação particular. As soluções e os procedimentos escolhidos servirão unicamente para prolongar a vida útil da estrutura. O prazo de validade desse procedimento de recuperação vai também depender das mesmas causas que produziram o efeito anterior. Porém ao longo do tempo, com o surgimento de novas tecnologias e com a aceitação da necessidade permanente da manutenção das obras, esses prazos poderão ser cada vez maiores.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Efeito de várias substâncias sobre o concreto, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5674: Manutenção de Edificações – Procedimentos ABNT/CB – Construção Civil*. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas - Procedimentos – ABNT/CB – 002 Construção Civil*. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – ABNT/CB – Construção Civil*. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e Projeto ABNT/CB – Construção Civil*. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12042: Materiais inorgânicos – Abrasão ABNT/CB – Construção Civil*. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13044: Concreto Projetado – Reconstituição da mistura recém projetada ABNT/CB – Construção Civil*. 2012.

BATISTA, M.; Perfeitos Hidrorrepelentes para Toda Situação. Revista Recuperar, v. 23, 1998.

CASCUDO BASTOS, O.; HELENE, P. Comportamento Mecánico del Hormigon de Recubrimiento frente a los Productos de Corrosión de las Armaduras. Hormigón Y Acero, Barcelona, n. 214, p. 75-83, dez. 1999.

HELENE, P.; PEREIRA, F. Manual de Recuperação de estruturas de concreto armado; Recuperação, reforço e proteção, São Paulo, Smart System, 2003.

MEDEIROS, M. H. F.; Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos com Proteção Superficial Frente à Ação de Íons Cloretos. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NOTAS DE AULA. Professor José Eduardo de Aguiar.  
[recuperacao@recuperacao.com.br](mailto:recuperacao@recuperacao.com.br). 2014.

RECUPERAÇÃO ENGENHARIA. [www.recuperacaoengenharia.com.br](http://www.recuperacaoengenharia.com.br). Acesso dia 20/03/2015.

REIS, L.S.N. Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado, Dissertação (Mestrado em Engenharia de estruturas) \_ Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2001.

REVISTA CONCRETO E CONSTRUÇÕES, [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br),  
JAN/FEV/MAR,ISSN 1809-7197, 2008.

SILVA, E.A. Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado, Dissertação (Graduação em construção civil) – Universidade de Anhembi Morumbi, Escola de Engenharia, São Paulo, 2006.

SIKA, S.A. Produtos químicos para construção. Colmatagem de concreto estrutural com adesivos epoxídicos, Sika S.A., 2000.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER,T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto, São Paulo, Pini, 1998.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios, São Paulo, IPT/EPUSP/Pini, 1998.

VEDACIT. [www.vedacit.com.br/literatura](http://www.vedacit.com.br/literatura). Acesso dia 16/01/2015.

ZAGOTTIS, D. L. Introdução da Segurança no Projeto Estrutural. São Paulo: Universidade de São Paulo, PEF / USP, 1974.



